

# GESTIÓN DE RESIDUOS DE ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL EN INDUSTRIAS

## WASTE MANAGEMENT OF PERSONAL PROTECTION ELEMENTS IN INDUSTRIES

---

Fabian Leonardo Moreno Camacho<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Orcid. Universidad Libre, Bogotá, Colombia, [fabianl-morenoca@unilibre.edu.co](mailto:fabianl-morenoca@unilibre.edu.co)

Fecha de recepción: 14/06/2023

Fecha de aceptación del artículo:  
dd/mm/año

---

### Resumen

El uso de Elementos de protección personal (EPPs) es obligatorio, ya que ayudan en la mitigación de lesiones o daños en la salud de los trabajadores. Sin embargo, la disposición final de los EPPs se desconoce, y se presume que estos elementos son dispuestos directamente en los rellenos sanitarios, o llegan directamente a áreas naturales. El objetivo del estudio fue analizar los aspectos económicos y ambientales de la incorporación de los residuos de EPPs a la economía circular. El estudio se realizó con información a nivel nacional (Marca A) y local (Marca B). Los datos se segmentaron por familias de EPPs, se cuantificaron y caracterizaron según su material de fabricación y peso. Como resultado se observó que las empresas podrían llegar a obtener ingresos de alrededor de \$ 459.9 millones de pesos anuales, además del beneficio ambiental que genera al prolongar la vida útil de los rellenos sanitarios.

**Palabras claves:** Protección personal, residuos sólidos, gestión.

### Abstract

The use of Personal Protection Elements (PPE) is mandatory, since they help to mitigate injuries or damage to the health of workers. However, the final disposition of the PPEs is unknown, and it is presumed that these elements are disposed of directly in sanitary landfills, or arrive directly in natural areas. The objective of the study was to analyze the economic and environmental aspects of incorporating PPE waste into the circular economy. The study was carried out with information at the national (Brand A) and local

---

<sup>1</sup> Fabian Leonardo Moreno Camacho. Ingeniero ambiental y sanitario – Universidad de la Salle, MSc. Ingeniería ambiental – Universidad Tecnológica Federal de Paraná – Especialización Gerencia ambiental – Universidad Libre

(Brand B) levels. The data was segmented by PPE families, quantified and characterized according to their manufacturing material and weight. As a result, it was observed that companies could obtain income of around \$459.9 million pesos per year, in addition to the environmental benefit generated by prolonging the useful life of sanitary landfills.

**Keywords:** Personal protection, solid waste, management.

## 1. INTRODUCCIÓN

La Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA) define el elemento de protección personal (EPP) como un equipamiento usado para disminuir los peligros a los que se enfrentan los trabajadores en el lugar de trabajo [1].

Los EPP deben ser escogidos conforme los requerimientos de cada industria, o según el tipo de exposición del trabajador y son clasificados para protección del cuerpo (vestido), auditiva, cabeza, facial y de ojos, brazos y manos, piernas y pies, respiratoria y protección general (por ejemplo, para trabajo en alturas o trabajos especiales) [2], [3].

El reporte realizado por *Market and Place* [4] muestra que para el año 2027 la demanda de los EPPs a nivel mundial será de 64.2 billones de dólares, e indicó que esa demanda estará relacionada principalmente con la industria manufacturera y de construcción. Sin embargo, el reporte informó que el consumo de EPPs disminuirá 1,3% en comparación con el año 2022, año impactado por el *Corona Virus Disease*, COVID-19, y que generó sobredemanda de EPPs. Solo el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF), entre el año 2020 y 2021, envió más de 895 millones de EPPs a 141 países. El envío incluyó elementos como máscaras médicas, protectores respiratorios, lentes, guantes y batas medicas entre otros [5].

Según la Organización Mundial para la Salud (OMS), la inesperada llegada del COVID-19 ocasionó el aumento en el consumo de EPPs por parte de la población (por pánico y usos indebidos de los mismos), y del personal médico (como barrera de protección) [6], [7]. Por ejemplo, la Conferencia de las Naciones

Unidas sobre Comercio y Desarrollo reportó que las ventas globales de protectores respiratorios pasaron de \$ 800 millones en 2019 a \$ 166 billones de dólares en 2020 [8]. Burki Talha [6] relató que antes de la pandemia China producía 20 millones de máscaras por día. Durante la pandemia, la producción aumentó a 110 millones de máscaras.

La organización ambiental EARTH5R de India, relató que ese país pasó de no producir EPPs (antes de pandemia), a producir 450 mil unidades dos meses después. Adicionalmente, mostraron que el 70% de esos productos eran incinerados, el 30% restante se encontraban tirados en áreas urbanas y playas, en Nueva Delhi (capital de India). Durante la pandemia la organización catalogó los residuos de EPPs en ese país como, “un nuevo mundo de residuos” [9].

En Colombia, según el primer reporte de situación de COVID-19, la UNICEF reportó la compra de 180 mil cubrebocas generales (sin ningún grado de eficiencia), y 12 mil cubrebocas N95 [10]. Adicionalmente, el gobierno invirtió aproximadamente 13 mil millones de pesos para la compra de 1.8 millones de EPPs contemplados como: batas, gorros, mascarillas y mascararas N95 para la protección de todo el recurso humano hospitalario [11].

De manera general, el uso de los EPPs impacta tanto de manera positiva como negativa la salud de las personas [12], [13]. De forma positiva, el uso de los EPPs ayuda a prevenir situaciones de contagio (en caso de enfermedades) [6], y de accidentes laborales en casos industriales [1].

Negativamente, los EPPs pueden afectar los animales [12] y contaminar el suelo, agua, aire, [14], [15]. Los impactos negativos son producidos por la disposición inadecuada de

EPPs, que al no contar con un plan de gestión de residuos afectan áreas naturales [16].

Por ejemplo, De-La-Torre et al [17], describieron los procesos fisicoquímicos de degradación de los EPPs (principalmente guantes y mascarillas quirúrgicas), bajo condiciones naturales simuladas en la ciudad de Bushehr-Irán. Los autores mencionaron que la exposición de los EPPs a los rayos solares incide en la fotooxidación de las poliolefinas, generando hidroxilo, carbonilo y vinilo, alterando la cristalinidad del material polimérico, su estabilidad térmica y propiedades mecánicas. Ese proceso puede fragmentar los elementos en tamaños menores a 5 mm (microplásticos), como reportado por [18].

Además de la degradación natural, los EPPs también son tratados de forma antropogénica. Eze et al. [19] realizaron una revisión bibliográfica sobre las alternativas de gestión de residuos y destacaron las siguientes: disposición convencional, quema e incineración no controlada y vertedero abierto; incineración controlada; vertederos de ingeniería y pirólisis.

Ramalingam et al. [20] profundizaron en el método de pirólisis de residuos plásticos, principalmente en el tratamiento de polipropileno de los EPPs. Los autores observaron que el poder calorífico del aceite pirolítico es de 40,85 (para mascarillas), 40,11 (guantes) y 40,31 (otros equipos de EPPs) MJ/kg, siendo comparable con el poder calorífico del Diesel. Este tratamiento, además de disminuir el volumen de residuos, produce energía sostenible mediante la generación de biocombustible de tercera generación.

Además de los tratamientos mencionados, existen otras alternativas para la gestión adecuada de los EPPs, como: la adición de los EPPs a los materiales de construcción, hormigón, arena de río y arena manufacturada [21], [22]; y el re uso y reciclaje de los mismos [23]–[25]. Por ejemplo, Tariq Khan et al. [26] describieron que los EPPs pueden ser reciclados debido a la composición de materia prima, principalmente plásticos, polietileno

(PET), polietileno de alta densidad (HDPE), cloruro de polivinilo (PVC), polietileno de baja densidad (LDPE), polipropileno (PP), poliestireno (PS) y policarbonato (PC).

Desde un enfoque político, Chand et al. [16] recomendaron realizar capacitaciones sobre el impacto causado por la contaminación de los EPPs, estandarizar las políticas de residuos, establecer políticas para mascarillas biodegradables y usar vehículos aéreos no tripulados para monitorear la contaminación por EPPs.

La gestión actual de residuos de EPPs se generó principalmente por la demanda de esos elementos en pandemia, como barrera de protección. Solo se encontró un estudio vinculado al consumo y disposición final de EPPs en la industria de obras civiles pesadas, realizado por Rycheta & Nagalli [27], en tres estados de Brazil. Los autores concluyeron que los EPP son desechados a los rellenos sanitarios, y resaltaron que esos elementos tienen un alto potencial de reciclado debido están compuestos de plásticos.

Por otro lado, se buscaron estudios asociados a la gestión adecuada de EPPs en la industria con las palabras claves: Waste AND management AND of AND personal AND protection AND equipment AND industry para publicaciones entre los años 2000 y 2022, y por área temática en ciencias ambientales e ingeniería. La búsqueda en las bases de datos Springer, Science Direct y Scopus arrojó como resultados 15, 854 y 29 artículos, respectivamente. Sin embargo, los estudios están enfocados en la gestión de residuos de EPPs usados durante la pandemia, y en el uso adecuado de los mismos en diferentes procesos industriales.

Para nuestro conocimiento, el estudio de Rycheta & Nagalli [27] es el único realizado en gestión de residuos de EPPs usados en la industria, a nivel de sur América. Sin embargo, para el caso de Colombia no existen trabajos reportados en la literatura. Con esta brecha de conocimiento tan amplia, el presente estudio

busca cuantificar los EPPs usados en las industrias tanto a nivel nacional como local para la ciudad de Bogotá y su región metropolitana.

## 2. METODOLOGÍA

El estudio se realizó a nivel nacional y como caso de estudio en la ciudad de Bogotá, para los años 2021–2022. La elección de los años se basó en tener información más acertada y actual, ya que el año 2020 fue impactado por el COVID-19 a nivel mundial, periodo en el cual se podrían presentar datos atípicos por el incremento en el uso de los EPPs.

La metodología de investigación fué mediante la triangulación de datos (Figura 1), basada en enfoques bottom-up, y la validación de los datos de mercado estimados a través de la investigación primaria. La información utilizada para estimar el tamaño del mercado y el pronóstico para varios segmentos a nivel local y regional se derivó de las fuentes con las partes interesadas adecuadas.

### 2.1 Cuantificación de los EPPs

Para la cuantificación de los EPPs, se utilizó el enfoque bottom-up, en el cual se realiza un análisis detallado de los patrones históricos de consumo anual de diversos productos de EPPs, tanto a nivel nacional como local. A nivel nacional, la información se obtuvo a partir de los datos ofrecidos por un fabricante de EPPs, con filiales en Colombia, Perú, Argentina y México (Marca A). La Marca A hace parte de un grupo empresarial que ofrece servicios y distribución internacional en las Américas, Europa, Asia Pacífico, el Reino Unido e Irlanda. El grupo empresarial apoya a empresas de todo el mundo con una variedad de productos que son esenciales para que sus clientes puedan operar con éxito sus negocios. Además, la Marca A cuenta con presencia en 23 países, 240 centros de distribución y 14.000 empleados. A nivel local y como estudio de caso para Bogotá, la información se obtuvo de una microempresa (Marca B), que cuenta con un personal no

superior a 10 trabajadores y tiene su sede principal y única en la ciudad de Bogotá.

Debido a la gran variedad de productos y referencias ofrecidas por esta gran marca y la variedad de productos de la microempresa por ser multimarca, los EPPs se agruparon en las siguientes familias: protección alturas (arnés y eslingas), cabeza (cascos), facial (caretas), visual (lentes), respiratoria (protectores respiratorios y filtros), manual (guantes), corporal (trajes) y pies (calzado). Los datos fueron obtenidos como la cantidad total anual de venta por familias de productos.

Este enfoque también considera la dinámica del consumo en un año, y análisis de materia prima para la fabricación.

Como el enfoque de top-down se basa en los datos publicados sobre ingresos, cuota de mercado y tasa de crecimiento de los principales actores que venden EPPs en el mercado, solo se trabajó con bottom-up e investigación primaria ya que los datos obtenidos son por unidades totales vendidos anualmente.

### 2.2 Investigación primaria

En esta sección se analizó cuáles son los principales productos ofertados. A partir de esta información primaria, se calculó la cantidad de EPPs dispuestos en los rellenos sanitarios, partiendo de la hipótesis de la no gestión de estos residuos en la industria.

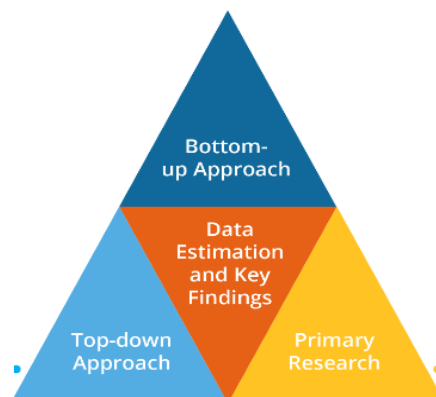


Figura 1 – Triangulación de datos, tomada de The Fortune Business Insight (2022).

## 2.3 Selección y caracterización de los EPPs

Para caracterizar los EPPs, se revisó cuáles son los productos ofertados en los catálogos. Posteriormente se revisaron las referencias correspondientes a los EPPs en el catálogo y se seleccionó un producto de cada familia para identificar la materia prima de fabricación. La selección de un solo producto se realizó por la gran variedad de productos, que en algunos casos cambian de referencia, pero son fabricados a partir del mismo material.

La caracterización de los EPPs se realizó a partir de las fichas técnicas de cada producto, donde se identificaron los principales materiales usados, y en algunos casos, el peso de cada producto.

Con esta información se buscó conocer: cuál es la cantidad de EPPs, tanto en unidades como en peso, ¿que posiblemente terminarían en los rellenos sanitarios? Y cuál sería el costo beneficio de incorporar esos productos en la cadena de circulación económica.

## 2.4 Estadística descriptiva y análisis costo-beneficio

La estadística descriptiva se realizó con el programa SPSS (IBM SPSS Statistics, versión 25). Se calculó el promedio, valores máximos y mínimos, la mediana, la desviación estándar y otras medidas de las cantidades vendidas para ambas marcas por separado, entre el año 2021 y 2022.

El análisis económico se seleccionó para evaluar la viabilidad de implementar un proyecto que permita disponer los EPPs, de forma tal, que se puedan re incorporar a la cadena de suministro. La técnica de análisis costo-beneficio se seleccionó para evaluar el proyecto ya que se relaciona directamente con la teoría de la decisión, que permite determinar la conveniencia de un proyecto a partir de los costos y beneficios que se derivan de él [28].

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Cuantificación de los EPPs a nivel nacional y local

Las cantidades promedio de unidades vendidas de EPPs por año a nivel nacional (Marca A) fueron de 715 mil (año 2021) y 776 mil (año 2022). El promedio y total de unidades de EPPs vendidas entre 2021 y 2022 fueron de, respectivamente, 5.9 y 11.9 millones. El año 2022 presentó un aumento de ventas del 8% respecto al año 2021. En ambos años, las familias con mayor rotación fueron la protección visual (46,5%), manual (24,2%) y auditiva (18,5%). En menor porcentaje de participación se encontró la protección cabeza (4,6%), facial (3,3%), respiratoria (1,4%), Corporal (1%) y Alturas (0.5%). La Tabla 1 presenta las cantidades de EPPs vendidos a nivel nacional.

Tabla 1– Cantidades vendidas (por unidades) por familias de EPPs para la Marca A, entre 2021–2022.

Familias de EPPs	2021	2022
Alturas	26524	33749
Auditiva	1163819	1048740
Cabeza	259439	287298
Corporal	62497	52779
Facial	185367	212232
Manual	1395333	1499473
Visual	2579365	2970736
Respiratoria	55238	108075

Fuente: Datos obtenidos con autorización de la Marca A, 2023.

A nivel local, las unidades promedio vendidos de EPPs fueron de 4.1 mil (año 2021) y 6.7 mil (año 2022). Ya el promedio y total de unidades vendidas de EPPs para ambos años fueron de, respectivamente, 48.8 mil y 97.6 mil. Las ventas a nivel local presentaron un comportamiento similar a las observadas a nivel nacional, pues respecto al año 2021 las ventas de EPPs aumentaron. Sin embargo, el aumento a nivel local fue del 63% para la Marca B. Para ambos años, las familias con mayor rotación fueron la

protección respiratoria (48,7%) y manual (27.7%). En menor porcentaje de participación, encontramos la protección corporal (9.1%), visual (7.3%), auditiva (4.9%), cabeza (1.2%), calzado (0.8%), facial (0.3%) y alturas (0.1%). La Tabla 2 presenta las unidades de EPPs vendidas a nivel local para los años 2021 y 2022.

Tabla 2 – Cantidades vendidas (por unidades) por familias de EPPs para la Marca B, entre 2021–2022.

Familias de EPPs	2021	2022
Alturas	75	59
Auditiva	2746	2047
Cabeza	582	576
Corporal	4043	4826
Facial	145	143
Manual	12666	14359
Visual	3389	3708
Respiratoria	13136	34413
Calzado	398	340

Fuente: Datos obtenidos de la microempresa, 2023.

El crecimiento porcentual para ambas marcas puede estar asociado al aumento del PIB del año 2022, que aumentó en un 7.5% respecto al año 2021, según el comunicado de prensa del Departamento Administrativo Nacional de Estadística [29]. El informe muestra que las actividades económicas que más contribuyeron al crecimiento anual del año 2022 fueron el comercio al por mayor y al por menor (10.7%) y las industrias manufactureras (9.8%). El aumento porcentual puede estar directamente relacionado con la Marca B, pues sus principales actividades económicas son el comercio al por mayor y confección de dotaciones.

### 3.2 Caracterización y gestión final de los EPPs

Los EPPs se caracterizaron a partir de las fichas técnicas de los productos. Debido a la amplia gama de productos por cada familia de EPPs, y

similitudes en el tipo de material de fabricación, se escogió un producto de cada familia y se identificaron los materiales de fabricación. Entre los principales materiales encontramos los siguientes: polímeros, acero y algodón. La Tabla 3 presenta el tipo de EPP con su respectiva caracterización.

El uso de polímeros para fabricación de los EPPs es usado, posiblemente, por su bajo costo, ligereza y durabilidad, fácil maleabilidad y su amplia gama de aplicaciones [30], [31]. Ya las partes metálicas, que son usadas principalmente en los equipos de protección contra caídas (alturas), son requeridas según la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA), en el estándar 1910.140 (*Personal Fall Protection System*). El estándar tiene como requisito general que: los conectores estén hechos en acero forjado, o de materiales equivalentes; deben ser resistentes a la corrosión y; deben soportar una carga de tracción mínima de 5000 libras (22.2 kN) [32].

Según la organización Plastic for change [33], el polietileno de alta densidad, el PVC, el polietileno, el polipropileno y el poliestireno son materiales que pueden ser reciclados. Inclusive, la compañía SL recycling (South Wales, UK) también recicla plástico ABS y nylon, además de los plásticos ya mencionados anteriormente [34]. Entre los tratamientos de reciclaje que se pueden encontrar están: el reciclaje mecánico, transformación química, biodegradación e incineración [30], [35]. En cuanto el algodón y el elastano no puedan ser reciclados directamente, mediante el uso de solventes se puede reciclar los tejidos a través de la disolución y la regeneración, y el residuo final puede ser usado como material de embalaje ([36]. Por ejemplo, el latex, aunque no pueda ser reciclado se puede agregar bio aditivos durante su fabricación. El resultado permite que los guantes de látex se degraden en el suelo hasta en cuatro semanas [37]. No en tanto, la opción de reciclar los plásticos no impide su disposición, solo retrasa el tiempo en que será descartado como residuo [38].

Ya los procesos de recuperación del cuero

pueden variar según la etapa en que se encuentre el cuero. En posconsumo, se puede realizar tratamiento mecánico (fragmentación y separación o uso directo), y tratamiento térmico como la incineración [39].

En cuanto al metal, tanto el aluminio [40] como el acero Instituto Americano del Hierro y el Acero (AISI) [41] pueden ser reciclados. Para el aluminio, Windmark et al [40] mencionaron que se puede reciclar en sistema cerrado (se recicla y fabrica una y otra vez el mismo producto), derretir el material, y diluirlo con aluminio de alta pureza y elementos de aleación. El Instituto Americano del Hierro y el Acero [41], menciona que el acero es conocido como el material más reciclado del planeta, brinda beneficios al ahorrar costos en materia prima, reduce la huella de contaminación por la producción de acero de materia pura y proporciona materia prima para las metalúrgicas.

Es importante conocer que el DECRETO 4741 DE 2005, “Por El Cual Se Reglamenta Parcialmente La Prevención y El Manejo de Los Residuos o Desechos Peligrosos Generados En El Marco de La Gestión Integral” [42], menciona que: quien genere los residuos debe encargarse de su disposición final, según las especificaciones de cada producto. Además, el Decreto también menciona que el generados de los residuos o desechos peligrosos es responsable de todos efectos negativos ocasionados a la salud y el ambiente.

Tabla 3 – Características físicas de los EPPs por familia.

Familias	Materia Prima
<b>Alturas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Arnés, anclaje portátil, eslinga: Reatas en cinta poliéster y argollas en acero</li> <li>– Mosquetón: Acero forjado</li> <li>– Líneas de vida: Acero</li> </ul>
<b>auditiva</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Tipo copa dieléctrico: Policarbonato y plástico ABS</li> <li>Almohadillas recubiertas en PVC</li> <li>– Tapón auto expandible: Espuma poliuretano</li> <li>– Tapón auditivo: PVC siliconado, caja en polietileno</li> </ul>

<b>cabeza</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Casco tipo 1 clase E: polietileno alta densidad y suspensión en nylon plástico</li> <li>– Casco tipo 2 clase E: Termoplástico ABS y espuma en poliestireno expandido</li> </ul>
<b>corporal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Overol tipo Tyveck: Lámina de polietileno</li> <li>– Dotación: Según la dotación puede estar fabricada de algodón, poliéster y elastano. Dependiendo del tipo de tela hay variación en el porcentaje de composición</li> </ul>
<b>facial</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Careta tiene dos partes: 1. Lámina policarbonato flexible y 2. Casquete porta visor: Polipropileno de alta densidad</li> </ul>
<b>manual</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Manual multiflex: Nylon, poliéster, nitrilo, nylon poliéster, poliéster nitrilo, poliéster látex</li> </ul>
<b>visual</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lente en policarbonato y marco en PVC</li> <li>– Monogafa: PVC y policarbonato</li> </ul>
<b>respiratoria</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Tela no tejida en polietileno o poliéster</li> <li>– Botas PVC: PVC y acero</li> </ul>
<b>calzado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Botas dieléctricas: Cuero, costura nylon, planta en poliuretano, puntera en acero,</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos recolectados de las marcas A y B, 2023.

### 3.3 Impactos de los EPPs en el ambiente

Geyer et al. [38] estimaron que a 2015 6300 millones de toneladas métricas de plásticos vírgenes han sido producidos, y tan solo el 9% han sido reciclados, 12% se han incinerado y el 79% se han acumulado en rellenos sanitarios y en el medio natural. Inclusive, los autores mencionaron que la producción de plásticos en los últimos 65 años ha superado la fabricación de cualquier otro material. Además, si la tendencia continua en crecimiento, en los próximos 30 años se producirán 4 veces más de residuos plásticos [43].

Según el programa ambiental de las Naciones Unidas, la polución de plásticos es un problema global que puede impactar los entornos naturales y disminuir la capacidad de adaptación de los ecosistemas al cambio climático [44].

Los desechos plásticos pueden ser encontrados tanto en hábitats terrestres como

en ambientes acuáticos, donde inicialmente son desechados en los ríos y terminan impactando el medio ambiente marino [45]. En el ambiente marino los desechos plásticos pueden encontrarse en el fondo marino y en la costa, donde los peces pueden confundir los residuos con alimentos, donde son consumido y esto puede inducir a la muerte. Además, algunos productos pueden generar atrapamiento en los peces, limitando el movimiento y posteriormente la muerte.

Los efectos adversos de los plásticos son mayores cuando son transformados en micro plásticos, y su efecto puede ser aún mayor según sus propiedades físicas (tamaño y forma de), y químicas (sustancias peligrosas adicionadas al plástico y las absorbidas por los micro plásticos) [46]. Los autores también mencionaron que: la aplicación de aditivos mejora las propiedades de los productos poliméricos, pero su potencial tóxico es bastante alto para el suelo, el aire y el agua. Además, los micro plásticos tienden a tender mayor relación con productos químicos tóxicos, como metales pesados y productos químicos orgánicos.

Por lo general, los impactos más relevantes son observados sobre el suelo y el agua. Sin embargo, los desechos plásticos también son encontrados en la atmosfera, donde posteriormente, esas micro plásticos son respirados por nosotros. Esas micro partículas pueden llegar hasta los pulmones y generar enfermedades respiratorias [47]. La autora también menciona que las partículas plásticas también pueden llegar a afectar la formación de nubes, la temperatura, las precipitaciones e incluso hasta el cambio climático.

Por otra parte, los productos de cuero pueden ser catalogados como un producto peligroso (por el proceso de curtido en cromo), según la Agencia de Protección Ambiental (EPA) [48]. Adicionalmente, las aguas residuales donde se curte el cuero contienen grandes cantidades de contaminantes, como sal, lodos de cal, sulfuros

y ácidos. El tratamiento, fabricación y disposición final del cuero no solo genera impactos ambientales, también maltrato animal y enfermedades cancerígenas en los trabajadores que se encuentran directamente expuestos a estas sustancias [49].

La organización *rainforest-rescue*, menciona que el aluminio solo se presenta en forma unida, y que la extracción, procesamiento y refinación de bauxita en aluminio genera un consumo alto de energía. La organización también menciona que entre los principales impactos generados están: la destrucción de la selva tropical para la minería de bauxita, la generación de metales tóxicos (plomo, cadmio y mercurio), y el alto consumo de energía Rainforest-rescue [50].

### **3.4 Beneficio económico de reincorporar los EPPs a la cadena productiva**

La información obtenida en las fichas técnicas de los productos permitió determinar cuál sería el beneficio económico de reciclar los EPPs. El análisis se realizó con el peso de cada producto, las cantidades vendidas en el año 2022 y el precio al cual se compró (tomado de la encuesta de precios del mercado de reciclaje en Colombia, 2022), por kilo, el material según el tipo de materia prima para el año 2022.

La Tabla 4 presenta la cantidad de productos vendidos, la descripción de material y peso del producto y los ingresos por familia de productos para el año 2022. Los ingresos más altos que se podrían percibir por incorporar los EPPs a la economía circular son los asociados a la protección cabeza y visual. Sin embargo, si se hubieran reciclado la cantidad de productos presentados en la Tabla 4, la empresa de Marca A hubiera percibido un total de \$ 459.938.228,65 millones de pesos. Es importante aclarar que los datos representan una sola Marca. Por lo que se recomienda realizar para próximas investigaciones, el levantamiento de información de todas



Tabla 4 – Ingresos económicos por venta de EPPS por familia para el año 2022

(Continúa)

Familias	Productos vendidos (año 2022)	Materia Prima	Peso	Peso total EPPs año 2022 (kg)	Precio de compra	Ingreso anual
<b>ALTURAS</b>	33749	– Arnés, anclaje portátil, eslinga: Reatas en cinta poliéster y argollas en acero – Mosquetón: Acero forjado – Líneas de vida: Acero	1,4–3,2 kg (según producto)  350 g (Mosquetón) varía según longitud	11812,15 (kg/aluminio)	\$ 5004 (kg de aluminio) \$ 900 (poliéster)	\$ 59.107.998,6 (Aluminio) \$ 42.523.740 (poliéster)
<b>AUDITIVA</b>	1048740	– Tipo copa dieléctrico: Policarbonato y plástico ABS Almohadillas recubiertas en PVC – Tapón autoexpandible: Espuma poliuretano – Tapón auditivo: PVC siliconado, caja en polietileno	150–200 (g)  1 g 3 g	3146,22	\$ 1331 (mezcla de plásticos flexibles)	\$ 4.187.618
<b>CABEZA</b>	287298	– Casco tipo 1 clase E: polietileno alta densidad y suspensión en nylon plástico – Casco tipo 2 clase E: Termoplástico ABS y espuma en poliestileno expandido	295 g 477 g	84752,91	\$ 1355 (polietileno policolor) No se encontró precio para poliestileno	\$ 114.840.193,1
<b>CORPORAL</b>	52779	– Overol tipo Tyveck: Lámina de polietileno – Dotación: Según la dotación puede estar fabricada de algodón, poliéster y elastano. Dependiendo del tipo de tela hay variación en el porcentaje de composición	42 g (overol Tyveck)	2216,718	\$ 1355 (polietileno policolor) No se encontró precio para la dotación	\$ 3.003.652
<b>FACIAL</b>	212232	– Careta tiene dos partes: 1. Lámina policarbonato flexible y 2. Casquete porta visor: Polipropileno de alta densidad	127 g (lámina) y 185.5 g (casquete)	39369,03 (Casquete) 26953 (lámina)	\$ 1908 (rígido, casquete) \$ 1331 (plástico flexible, lámina)	\$ 75.116.052 (Casquete) \$ 35.874.443 (Lámina)
<b>MANUAL</b>	1499473	Manual multiflex: Nylon, poliéster, nitrilo, nylon poliéster, poliéster nitrilo, poliéster látex	N/A		No se encontró precio de compra	

(Concluye)

Familias	Productos vendidos (año 2022)	Materia Prima	Peso	Peso total EPPs año 2022 (kg)	Precio de compra	Ingreso anual
VISUAL	2970736	Lente en policarbonato y marco en PVC –Monogafa: PVC y policarbonato	31,5 g 75,5 g	93578 (lente)	\$ 1331 (mezcla de plásticos flexibles)	\$ 124.552.318
RESPIRATORIA	108075	–Tela no tejida en polietileno o poliéster	5 g	540,38 (polietileno)	\$ 1355 (polietileno policolor)	\$ 732.214
CALZADO	-	–Botas PVC: PVC y acero –Botas dieléctricas: Cuero, costura nylon, planta en poliuretano, puntera en acero,	entre 400 y 600 g			

Fuente: Elaboración propia (2023).

las empresas que se encuentran a nivel local, regional y en el país. Por ejemplo, el estudio realizado por Rodríguez [51], quien recopiló información relevante sobre empresas que fabrican y/o comercializan EPPs a nivel nacional y local mostró un total de 504 empresas a nivel nacional, 165 comercializan y 339 fabrican.

#### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se realizó un diagnóstico inicial de los EPPs vendidos tanto a nivel nacional como local (Bogotá), con el fin de calcular cuáles podrían ser sus impactos ambientales si no cuentan con una disposición adecuada, los posibles tratamientos de residuos y cuanto podría llegar a obtener en caso de vender los EPPs como reciclaje.

El estudio nos permitió observar que la cuantificación de los EPPs es importante para segmentar cuales son los residuos generados asociados a la protección de los trabajadores. La generación de estos residuos disminuye la vida útil de los rellenos sanitarios, y la degradación de estos productos no solo generan impactos en el medio terrestre,

acuático y atmosférico, también impactan la fauna y salud de las personas.

EL reciclaje de estos productos, además de proteger el ambiente y salud de las personas, puede generar empleo en el sector del reciclaje e ingresos a las empresas que vendan esos productos.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Agradezco a las dos empresas por el aporte de los datos que ayudaron a realizar el proyecto. Principalmente la Marca B, quien siempre me apoyó en realizar este estudio, tanto en aportes económicos como logísticos.

#### 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] OSHA, "Personal Protective Equipment," United States, 2004.
- [2] OIT, "La seguridad y salud en el trabajo - Guía para inspectores del trabajo y otras partes interesadas (Administración e inspección del trabajo)," *Equipos de protección personal*, 2019. <https://www.ilo.org/global/topics/labour-administration-inspection/resources-library/publications/guide-for-labour-inspectors/lang--es/index.htm> (accessed

- Nov. 07, 2022).
- [3] N. Niiijaawan and R. Niiijaawan, *Modern Approach to Maintenance in Spinning*. Elsevier, 2010. doi: 10.1533/9780857094056.
- [4] MarketsandMarkets, "Personal Protective Equipment Market Share, Size, Trends – 2022-2027," 2021. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/personal-protective-equipment-market-132681971.html> (accessed Nov. 07, 2022).
- [5] UNICEF, "Protecting the front line: why access to quality PPE remains critical during the pandemic," *United Nations International Children's Emergency Fund*, Dec. 20, 2021. <https://www.unicef.org/supply/stories/protecting-front-line-why-access-quality-ppe-remains-critical-during-pandemic> (accessed Nov. 07, 2022).
- [6] Burki Talha, "Global shortage of personal protective equipment," *The Lancet*, pp. 785–786, 2020. Accessed: Nov. 07, 2022. [Online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7314445/pdf/m>
- [7] OMS, "La escasez de equipos de protección personal pone en peligro al personal sanitario en todo el mundo," Mar. 03, 2020. <https://www.who.int/es/news/item/03-03-2020-shortage-of-personal-protective-equipment-endangering-health-workers-worldwide> (accessed Nov. 07, 2022).
- [8] UNCTAD, "Growing plastic pollution in wake of COVID-19: How trade policy can help," Jul. 27, 2020. <https://unctad.org/news/growing-plastic-pollution-wake-covid-19-how-trade-policy-can-help> (accessed Nov. 10, 2022).
- [9] EARTH5R, "Personal Protection Equipment (PPE): a New World of Waste – Earth5R," Aug. 10, 2020. <https://earth5r.org/personal-protection-equipment-ppe-waste-circular-economy/> (accessed Nov. 08, 2022).
- [10] UNICEF, "Colombia COVID-19 – Situation Report," Mar. 2020. <https://www.unicef.org/media/81936/file/Colombia-COVID19-SitRep-June-2020.pdf> (accessed Nov. 10, 2022).
- [11] Ministerios de Salud y Protección Social, "Gobierno Nacional destinó \$929.950 millones para fortalecer las capacidades en salud ante la llegada del covid-19," Jun. 30, 2020. <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Gobierno-Nacional-destino-929.950-millones-para-fortalecer-las-capacidades-en-salud-ante-la-llegada-del-covid-19.aspx> (accessed Nov. 10, 2022).
- [12] S. Yang *et al.*, "Impact of waste of COVID-19 protective equipment on the environment, animals and human health: a review," *Environ Chem Lett*, vol. 20, pp. 2951–2970, 2022, doi: 10.1007/s10311-022-01462-5.
- [13] E. J. Zhang, L. P. Aitchison, N. Phillips, R. Z. Shaban, and A. W. Kam, "Protecting the environment from plastic PPE Greener manufacture, use, and disposal are urgent priorities," *The BMJ*, vol. 109, p. 372, 2021, doi: 10.1136/bmj.n109.
- [14] J. Karliner, S. Slotterback, R. Boyd, B. Ashby, and K. Steele, "HEALTH CARE'S CLIMATE FOOTPRINT," 2019.
- [15] R. Dean, "PPE: polluting Planet Earth," *British Dental Journal*, vol. 229, no. 5. Nature Publishing Group, pp. 267–267, Sep. 11, 2020. doi: 10.1038/s41415-020-2130-5.
- [16] A. A. Chand, P. P. Lal, K. A. Prasad, and K. A. Mamun, "Practice, benefits, and impact of personal protective equipment (PPE) during COVID-19 pandemic: Envisioning the UN sustainable development goals (SDGs) through the lens of clean water sanitation, life below water, and life on land in Fiji," *Annals of Medicine and Surgery*, vol. 70, Oct.

- 2021, doi:  
10.1016/J.AMSU.2021.102763.
- [17] G. E. De-La-Torre *et al.*, "Physical and chemical degradation of littered personal protective equipment (PPE) under simulated environmental conditions," 2022, doi:  
10.1016/j.marpolbul.2022.113587.
- [18] O. O. Fadare and E. D. Okoffo, "Covid-19 face masks: A potential source of microplastic fibers in the environment," *Science of the Total Environment*, vol. 737, Oct. 2020, doi:  
10.1016/J.SCITOTENV.2020.140279.
- [19] W. U. Eze, T. Oyegoke, J. D. Gaiya, R. Umunakwe, and D. I. Onyemachi, "Review of personal protective equipment and their associated wastes, life-cycle and effective management during the Covid-19 pandemic in developing nations," *Clean Technologies and Recycling*, vol. 2, no. 1, pp. 1–31, 2022, doi: 10.3934/ctr.2022001.
- [20] S. Ramalingam, R. Thamizhvel, S. Sudagar, and R. Silambarasan, "Production of third generation bio-fuel through thermal cracking process by utilizing Covid-19 plastic wastes," *Mater Today Proc*, 2022, doi:  
10.1016/J.MATPR.2022.09.430.
- [21] H. T. Mohan, K. Jayanarayanan, and K. M. Mini, "A sustainable approach for the utilization of PPE biomedical waste in the construction sector," *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 32, Aug. 2022, doi: 10.1016/J.JESTCH.2021.09.006.
- [22] A. Abd, E. Aal, G. M. S. Abdullah, S. M. Talha Qadri, A. Z. Abotalib, and A. Othman, "Advances on concrete strength properties after adding polypropylene fibers from health personal protective equipment (PPE) of COVID-19: Implication on waste management and sustainable environment," *Physics and Chemistry of the Earth*, vol. 128, pp. 1474–7065, 2022, doi:  
10.1016/j.pce.2022.103260.
- [23] S. Sinha Ray, H. K. Lee, D. Thi, T. Huyen, S.-S. Chen, and Y.-N. Kwon, "Microplastics waste in environment: A perspective on recycling issues from PPE kits and face masks during the COVID-19 pandemic," *Environ Technol Innov*, vol. 26, p. 102290, 2022, doi:  
10.1016/j.eti.2022.102290.
- [24] S. S. Ray, H. K. Lee, D. T. T. Huyen, S. S. Chen, and Y. N. Kwon, "Microplastics waste in environment: A perspective on recycling issues from PPE kits and face masks during the COVID-19 pandemic," *Environ Technol Innov*, vol. 26, May 2022, doi: 10.1016/J.ETI.2022.102290.
- [25] N. J. Rowan and J. G. Laffey, "Unlocking the surge in demand for personal and protective equipment (PPE) and improvised face coverings arising from coronavirus disease (COVID-19) pandemic – Implications for efficacy, re-use and sustainable waste management," *Science of the Total Environment*, vol. 752, Jan. 2021, doi:  
10.1016/J.SCITOTENV.2020.142259.
- [26] M. Tariq Khan *et al.*, "Personal protective equipment (PPE) disposal during COVID-19: An emerging source of microplastic and microfiber pollution in the environment," 2022, doi:  
10.1016/j.scitotenv.2022.160322.
- [27] P. Rycheta and A. Nagalli, "The Disposal of Personal Protective Equipment Used in the Heavy Construction Sector," *EJGE*, vol. 18, pp. 1511–1519, 2013.
- [28] C. Habana, "El costo-beneficio como herramienta de decisión en la inversión en actividades científicas," 2017.
- [29] DANE, "Comunicado de Prensa - Producto Interno Bruto (PIB)," *DANE*, pp. 1–13, 2023.
- [30] I. A. Ignatyev, W. Thielemans, and B. Vander Beke, "Recycling of polymers: A review," *ChemSusChem*, vol. 7, no. 6. Wiley-VCH Verlag, pp. 1579–1593, 2014. doi: 10.1002/cssc.201300898.

- [31] J. Hopewell, R. Dvorak, and E. Kosior, "Plastics recycling: challenges and opportunities," *PHILOSOPHICAL TRANSACTIONS OF THE ROYAL SOCIETY*, pp. 2115–2126, 2009, doi: 10.1098/rstb.2008.0311.
- [32] OSHA, "By Standard Number 1910.140 - Personal fall protection systems," *UNITED STATES DEPARTMENT OF LABOR*, Jan. 17, 2017.
- [33] plasticforchange, "Which Plastic Can Be Recycled?," May 20, 2021. <https://www.plasticsforchange.org/blog/which-plastic-can-be-recycled> (accessed May 13, 2023).
- [34] SL Recycling, "What Plastics Can and Cannot be Recycled? ," 2023. <https://www.slrecyclingltd.co.uk/what-plastics-can-and-cannot-be-recycled/> (accessed May 13, 2023).
- [35] J.-P. Lange, "Managing Plastic Waste □ Sorting, Recycling, Disposal, and Product Redesign," *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, vol. 9, pp. 15722–15738, Nov. 2021, doi: 10.1021/acssuschemeng.1c05013.
- [36] L. Wang, S. Huang, and Y. Wang, "Recycling of Waste Cotton Textile Containing Elastane Fibers through Dissolution and Regeneration," *Membranes (Basel)*, vol. 12, no. 4, Apr. 2022, doi: 10.3390/membranes12040355.
- [37] M. A. Mismán and A. R. Azura, "Overview on the potential of biodegradable natural Rubber Latex gloves for commercialization," in *Advanced Materials Research*, 2014, pp. 486–489. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.844.486.
- [38] R. Geyer, J. R. Jambeck, and K. L. Law, "Production, use, and fate of all plastics ever made," 2017. [Online]. Available: <https://www.science.org>
- [39] T. Pringle, M. Barwood, and S. Rahimifard, "The Challenges in Achieving a Circular Economy within Leather Recycling," *Procedia CIRP*, vol. 48, pp. 544–549, 2016, doi: 10.1016/J.PROCIR.2016.04.112.
- [40] C. Windmark, L. Lattanzi, A. Månberger, and A. E. W. Jarfors, "Investigation on Resource-Efficient Aluminium Recycling - A State of the Art Review," in *Advances in Transdisciplinary Engineering*, IOS Press BV, Apr. 2022, pp. 15–27. doi: 10.3233/ATDE220122.
- [41] AISI, "Determination of Steel Container Recycling Rates in the United States," United States, Jul. 2021. Accessed: May 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.steel.org/wp-content/uploads/2021/08/AISI-and-SMA-Steel-Container-Recycling-Rates-Report-Final-07-27-2021.pdf>
- [42] Ministerio de Ambiente, *DECRETO 4741 DE 2005, por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral*. 2005, pp. 1–15.
- [43] G. Guglielmi, "In the next 30 years, we'll make four times more plastic waste than we ever have," *Science*, Jul. 19, 2017. <https://www.science.org/content/article/next-30-years-we-ll-make-four-times-more-plastic-waste-we-ever-have> (accessed Jun. 04, 2023).
- [44] UN, "Plastic Pollution," Jun. 05, 2023. <https://www.unep.org/plastic-pollution> (accessed Jun. 04, 2023).
- [45] Welden Natalie, "The environmental impacts of plastic pollution," in *Plastic Waste and Recycling*, 2020.
- [46] I. Wojnowska-Baryła, K. Bernat, and M. Zaborowska, "Plastic Waste Degradation in Landfill Conditions: The Problem with Microplastics, and Their Direct and Indirect Environmental Effects," vol. 19, p. 13223, Oct. 2022, doi: 10.3390/ijerph192013223.
- [47] Jones Nicola, "Microplastics Are Filling the Skies. Will They Affect the Climate?"

---

,” *YaleEnvironment*, Feb. 01, 2023.  
<https://e360.yale.edu/features/plastic-waste-atmosphere-climate-weather>  
(accessed Jun. 05, 2023).

- [48] EPA, “LEATHER MANUFACTURING,” Sep. 2000. [Online]. Available: [www.epa.gov/osw](http://www.epa.gov/osw)
- [49] PETA, “Environmental Hazards of Leather,” 2023. <https://www.peta.org/issues/animals-used-for-clothing/leather-industry/leather-environmental-hazards/> (accessed Jun. 05, 2023).
- [50] rainforest-rescue, “Aluminum – a light metal with a massive impact - Rainforest Rescue,” 2023. <https://www.rainforest-rescue.org/topics/aluminum> (accessed Jun. 05, 2023).
- [51] M. Rodriguez, “EMPRESAS PRODUCTORAS Y/O COMERCIALIZADORAS DE ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL EN EL ÁREA DE HIGIENE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO, EN COLOMBIA, REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA,” 2020.