

# Potenciales efectos tóxicos que producen los microplásticos en la salud de los trabajadores: revisión sistemática de la literatura.

Cristina E. Almeida-Naranjo<sup>1</sup> and Yolis Campos<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias del Trabajo, Universidad Internacional SEK; cristina.almeida@uisek.edu.ec

<sup>1,\*</sup> Facultad de Ciencias del Trabajo, Universidad Internacional SEK; yolis.campos@uisek.edu.ec

**Resumen:** La exposición laboral a microplásticos es preocupante debido a los efectos tóxicos que puede ocasionar en los trabajadores. Diversas industrias, como la fabricación de plásticos, industria del caucho, impresión 3D, extrusión, reciclaje y construcción, representan fuentes potenciales de exposición. Este estudio busca analizar los efectos tóxicos que los microplásticos generan en la salud de los trabajadores involucrados en diversas etapas laborales, desde la producción hasta la disposición final, incluyendo aplicaciones y limpieza. Mediante una revisión sistemática de la literatura en bases de datos como Google Scholar, ScienceDirect, PubMed, Scopus y Lilacs, se identificaron 788 artículos relevantes. Los estudios revisados mostraron variaciones significativas en el tipo/concentración de microplásticos en el entorno laboral, influidas además por el tipo de actividad y las condiciones de trabajo. Sin embargo, tras aplicar criterios de selección utilizando el método PRISMA, solo 9 artículos cumplieron los requisitos, destacando la necesidad de más investigación en este campo. En el estudio se evaluó la salud respiratoria de trabajadores relacionados con impresión 3D, calzado, extrusión-flocado, manicura, producción de plásticos/bolsas plásticas, mensajeros y personal de oficina. Las enfermedades asociadas a la exposición fueron principalmente de tipo respiratorio. Determinándose que la protección de la salud de los trabajadores expuestos es fundamental, requiriendo medidas preventivas (uso adecuado de equipos de protección personal, sistemas de ventilación eficaces) para reducir la exposición. Los estudios sobre la toxicidad de los microplásticos en trabajadores son limitados y heterogéneos, por lo que este estudio enfatiza en la necesidad de investigación continua, para así abordar los desafíos de salud pública asociados con la exposición laboral a microplásticos.

**Palabras clave:** Microesferas; Estado de Salud; Salud Laboral; Efectos adversos; Reciclaje, Fabricación de plásticos

**Abstract:** Occupational exposure to microplastics is concerning due to the toxic effects it can pose to workers. Various industries, such as plastics manufacturing, the rubber industry, 3D printing, extrusion, recycling, and construction, represent potential sources of exposure. This study aims to analyze the toxic effects that microplastics have on the health of workers involved in various work stages, from production to final disposal, including applications and cleaning. Through a systematic review of the literature in databases such as Google Scholar, ScienceDirect, PubMed, Scopus, and Lilacs, 788 relevant articles were identified. The reviewed studies showed significant variations in the type/concentration of microplastics in the workplace, also influenced by the type of activity and working conditions. However, after applying selection criteria using the PRISMA method, only eight articles met the requirements, highlighting the need for further research in this field. The study assessed the respiratory health of workers involved in 3D printing, footwear, extrusion-flocking, manicures, plastics/bag production, couriers, and office personnel. Diseases associated with exposure were primarily respiratory in nature. It was determined that protecting the health of exposed workers is fundamental, requiring preventive measures (proper use of personal protective equipment, effective ventilation systems) to reduce exposure. Studies on the toxicity of microplastics in workers are limited and heterogeneous, so this study emphasizes the need for ongoing research to address the public health challenges associated with occupational exposure to microplastics.

**Keywords:** Microspheres; Health Status; Occupational Health; Adverse Effects; Recycling; Plastic Manufacturing.

## 1. Introducción

Los microplásticos (tamaño = 1–5000 nm) se clasifican en primarios (microesferas de productos para el cuidado personal y cosméticos) y secundarios (degradación/fragmentación/lixiviación de plásticos) (Horton et al., 2017). Aproximadamente 4.130 toneladas/año de microesferas se utilizan en diferentes productos de cuidado personal en los países de la UE, además de Noruega y Suiza. Mientras que los residuos plásticos han alcanzado valores en torno a los 6.300 millones de toneladas (océanos=1,6–4,1%) entre 1950 y 2015. De hecho, más de 400.000 toneladas de microplásticos/año (95 % de las EDAR) podrían ingresar al medio ambiente. La exposición humana (inhalación/ingestión/adsorción dérmica) a microplásticos ha generado preocupación en la comunidad científica, debido a los posibles efectos adversos para la salud. Además, la presencia de microplásticos en alimentos, agua y aire ha planteado varias preguntas sobre los posibles efectos adversos para la salud de la población general, viéndose necesaria una perspectiva de salud ocupacional. Esto debido a que, a diferencia de la población general, que se expone a concentraciones bajas de microplásticos, los trabajadores pueden enfrentar concentraciones mucho más altas (Murashov, Geraci, Schulte, & Howard, 2021). En el lugar de trabajo, la inhalación de las partículas suspendidas en el aire es la principal vía de exposición, encontrándose concentraciones alrededor de  $4 \times 10^{10}$  partículas/m<sup>3</sup> en lugares de trabajo donde se usan impresoras de extrusión 3D (A. B. Stefaniak et al., 2019; Aleksandr B. Stefaniak et al., 2018). La versatilidad, la amplia aplicación y el bajo costo de la técnica ha permitido su notable crecimiento en los últimos años. Esto ha permitido que varias personas se incorporen a trabajar en estas industrias (Madhav et al., 2016; P.Sivasankaran & B.Radjaram, 2020). Asimismo, los trabajadores de las industrias textil sintética, de flocado y del cloruro/policloruro de vinilo son de los más expuestos a microplásticos (Murashov, Geraci, Schulte, & Howard, 2021). En el caso de la industria textil se ha encontrado trabajadores expuestos a microplásticos de nylon, poliéster, poliuretano (PU), poliolefina, acrílico y vinilo, en la de flocado nylon, poliéster, polietileno (PE) y polipropileno (PP) (Facciol et al., 2021). Sin embargo, la información presentada en estudios previos es muy diversa.

Si bien Sun y otros (2023) no investigaron la presencia de microplásticos en muestras tomadas de los trabajadores, analizaron la presencia de microplásticos en una industria de caucho que produce partes automotrices. Se recolectaron muestras de aire en el interior de tres talleres de producción (refinación, post procesamiento y extrusión) y una oficina. Se encontró microplásticos en forma de fibras y fragmentos en todas las muestras de aire, en un rango de tamaños entre 20 y 5000  $\mu\text{m}$  (predominando los tamaños entre 20 y 100  $\mu\text{m}$ ). El tipo de actividad influyó en la cantidad de microplásticos en el aire, existiendo menor concentración en la oficina ( $360 \pm 61$  n/m<sup>3</sup>), y mayor en el taller de post procesamiento ( $559 \pm 184$  n/m<sup>3</sup>). En cuanto a los tipos, se identificaron un total de 40 tipos de polímeros (ej., Poli(1-deceno), PE, PP, poliestireno-butadieno, poliestireno, poliamidas, polietilentereftalato, acrilonitrilo-butadieno-estireno, etc.). El taller de post procesamiento presentó la mayor proporción de acrilonitrilo-butadieno-estireno moldeado por inyección, el taller de extrusión la de caucho poli(etileno:propileno:dieno) y el taller de refinación más microplásticos utilizados como adhesivos (ej., resina de hidrocarburo aromático) (Sun et al., 2023).

A pesar de la información encontrada, la toxicidad de los microplásticos no está bien caracterizada, en parte debido a la complejidad de sus composiciones químicas y al área superficial/forma/tamaño/textura. En particular, se ha informado que los microplásticos más pequeños en forma de fibras y de mayor área superficial generan una mayor toxicidad (Li et al., 2018), misma que se asocia a exposiciones mixtas (Lim, Jeong, Song, et al., 2021). Entre los principales efectos que causan los microplásticos en la salud de los trabajadores están la respuesta inflamatoria (Lim, Jeong, Song, et al., 2021). Una inflamación crónica puede provocar enfermedades pulmonares, incluido el cáncer. A través de distintos mecanismos, entre los que se pueden mencionar la sobrecarga de polvo, el estrés oxidativo y la citotoxicidad (Prata, 2018). La inflamación puede verse potenciada debido a la capacidad de adsorción que presentan los microplásticos. Esto produce que metales u otros productos químicos se adsorban en el material, y generen el mecanismo conocido como "caballo de Troya" (Limbach et al., 2007). Esto se observó en un estudio de toxicidad in vitro de partículas de PVC donde se produjo citotoxicidad debió a aditivos como los tensioactivos presentes en estas partículas (H. Xu et al., 2002).

Otros estudios han encontrado que los microplásticos, producen edema pulmonar agudo fatal (Lee et al., 1997), enfermedad pulmonar intersticial (Lougheed et al., 1995), pérdida de la función pulmonar (Soutar et al., 1980). Si bien actualmente, está bastante bien definido el campo de fabricación, características (físico-químicas, morfológicas, etc.), aplicación de los plásticos y microplásticos. Con la poca información encontrada, es notorio que se ha dejado de lado cuales son los efectos, a corto o largo plazo, que pudiesen generar en la salud de los trabajadores que entran en contacto con ellos en alguna parte de su ciclo de vida. Incluso la legislación es aún limitada, esto a pesar de que se ha comprobado que los microplásticos son un problema global. En algunos países se han definido límites máximos permisibles, bajo ciertos supuestos que parecen no poder ser escalados a nivel mundial. Respecto a la toxicidad en los seres humanos, se conoce muy poco sobre los efectos que pueden provocar este tipo de sustancias químicas. En Ecuador los datos de toxicidad de microplásticos tampoco es específica, pero han sido encontrados en algunos productos como la miel (54 - 67 partículas/L), bebidas suaves (32 partículas/L) y leche (40 partículas/L) (Bai et al., 2022; Pironi et al., 2021), lo que supone que los trabajadores que intervinieron en la producción de estos productos estuvieron en contacto con los xenobióticos. Por lo tanto, es importante destacar la necesidad de ampliar la investigación en este campo, considerando los diversos factores que influyen en la toxicidad de los microplásticos, como su composición química, tamaño, forma y otras propiedades. Es crucial obtener un conocimiento más completo sobre los posibles efectos a corto

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68

69

70

71

72

73

74

75

76

77

78

79

80

81

82

83

84

85

86

87

88

89

90

91

92

93

94

95

96

97

98

99

100

y largo plazo en la salud de los trabajadores expuestos. Esto permitirá establecer medidas de protección y promover políticas de seguridad laboral más efectivas.

Un primer paso, puede ser realizar un estudio sistemático de la bibliografía existente, para de esta manera responder algunas de las interrogantes que existe en el amplio campo de la toxicidad de los microplásticos. Por ejemplo: ¿Cuáles son los microplásticos comúnmente encontrados en el ambiente laboral?, ¿Cuál es la toxicidad de los microplásticos?, ¿Cuáles son los efectos que pueden causar en el trabajador? etc. Esto con la finalidad de tener información ordenada, sistematizada, analizada y evaluada.

Por lo tanto, la hipótesis de esta investigación es: La exposición ocupacional a microplásticos produce efectos adversos en la salud de los trabajadores. Por lo tanto, nos planteamos analizar los potenciales efectos tóxicos que generan los microplásticos en los trabajadores durante procesos de producción mediante la revisión de la literatura, con la finalidad de sugerir medidas preventivas que garanticen la salud de los trabajadores.

## 2. Materiales y Métodos

Para la presente investigación se propuso la realización de una revisión sistemática de los posibles efectos tóxicos que pueden generar los microplásticos en la salud de los trabajadores. Para lo cual se ha considerado la revisión de documentos en inglés encontrados en las bases de datos: Scopus, PubMed, ScienceDirect, LILACS y Google Scholar. La estrategia de búsqueda incluyó palabras clave relacionadas con microplásticos, la exposición ocupacional y con la salud de los trabajadores. Además, se incluyeron operadores booleanos como AND/or, siendo la ecuación de búsqueda: ("microplastics" OR "microplastic particles" OR "microplastic debris" OR "microplastic pollution") AND ("worker health" OR "worker's health" OR "health of workers" OR "occupational health") AND ("occupational exposure" OR "occupational risk" OR "occupation"). Esta información se buscó desde el 3 de mayo de 2023 hasta el 21 de julio de 2023.

La información encontrada se filtró, analizó, clasificó y ordenó de forma que se seleccionaron los estudios más relevantes mediante el análisis PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) versión 2020. El método PRISMA 2020 incluye 27 ítems, mismos que se presentan en la sección Anexos. Este método emplea criterios de inclusión y exclusión para elegir estudios que permitan el cumplimiento de los objetivos de la investigación. Estos criterios garantizan transparencia, disminuyen el sesgo de selección y mejoran la eficiencia de la búsqueda. De esta manera se logra una revisión integral y confiable que mejora la calidad de la evidencia y facilita la replicabilidad en la toma de decisiones (Alonso-ferna et al., 2021). Los criterios de inclusión y exclusión considerados para esta investigación se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Criterios de inclusión y exclusión para aplicación del análisis PRISMA.

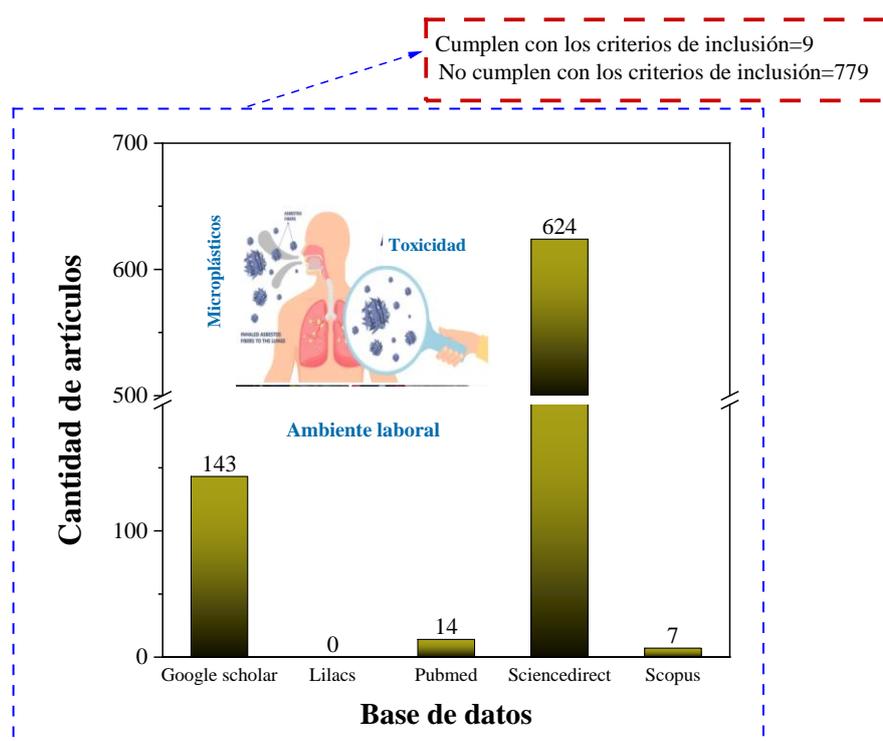
Parámetro	Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Antigüedad de la publicación	2003 - 2023	Antes al 2003
Idioma	Inglés	Español, portugués, etc.
Tipo de publicación	Artículos experimentales publicados	Revisiones, capítulos de libro, enciclopedia, literatura gris
Población	Trabajadores expuestos a microplásticos	Población general, animales
Agente causal	Microplásticos	Aditivos de los plásticos
Ambiente	Laboral	No laboral (medio ambiente, ecosistemas, matrices ambientales)
Bases de datos	Scopus, Google scholar, LILACS, PubMed, Science Direct	Otras bases de datos
Tipo acceso	Acceso libre	Acceso privado

## 3. Resultados

Con la ecuación ("*microplastics*" OR "*microplastic particles*" OR "*microplastic debris*" OR "*microplastic pollution*") AND ("*worker health*" OR "*worker's health*" OR "*health of workers*" OR "*occupational health*") AND ("*occupational exposure*" OR "*occupational risk*" OR "*occupation*") se encontraron 788 artículos. ScienceDirect es la base de datos que presentó mayor cantidad de documentos relacionados con la toxicidad de los microplásticos en trabajadores. Esto se debe probablemente a su amplia cobertura de revistas científicas y libros, principalmente publicados por Elsevier. Google Scholar ocupa el segundo lugar, esto se asocia a que esta base de datos se caracteriza por tener una amplia cobertura de artículos científicos que incluyen revistas científicas, tesis, informes técnicos, actas de congresos y otros tipos de publicaciones académicas. A diferencia de las otras bases de datos, Google Scholar utiliza algoritmos de búsqueda que rastrean y recopilan información de múltiples fuentes, lo que le permite abarcar una mayor cantidad de contenido académico. Por otro lado, el número reducido de artículos encontrados en PubMed (14), Lilacs (0) y Scopus(7) puede estar relacionado con la precisión de los términos de búsqueda utilizados, la naturaleza emergente del área de investigación, la posibilidad de que algunos estudios relevantes no estén indexados o disponibles en dichas

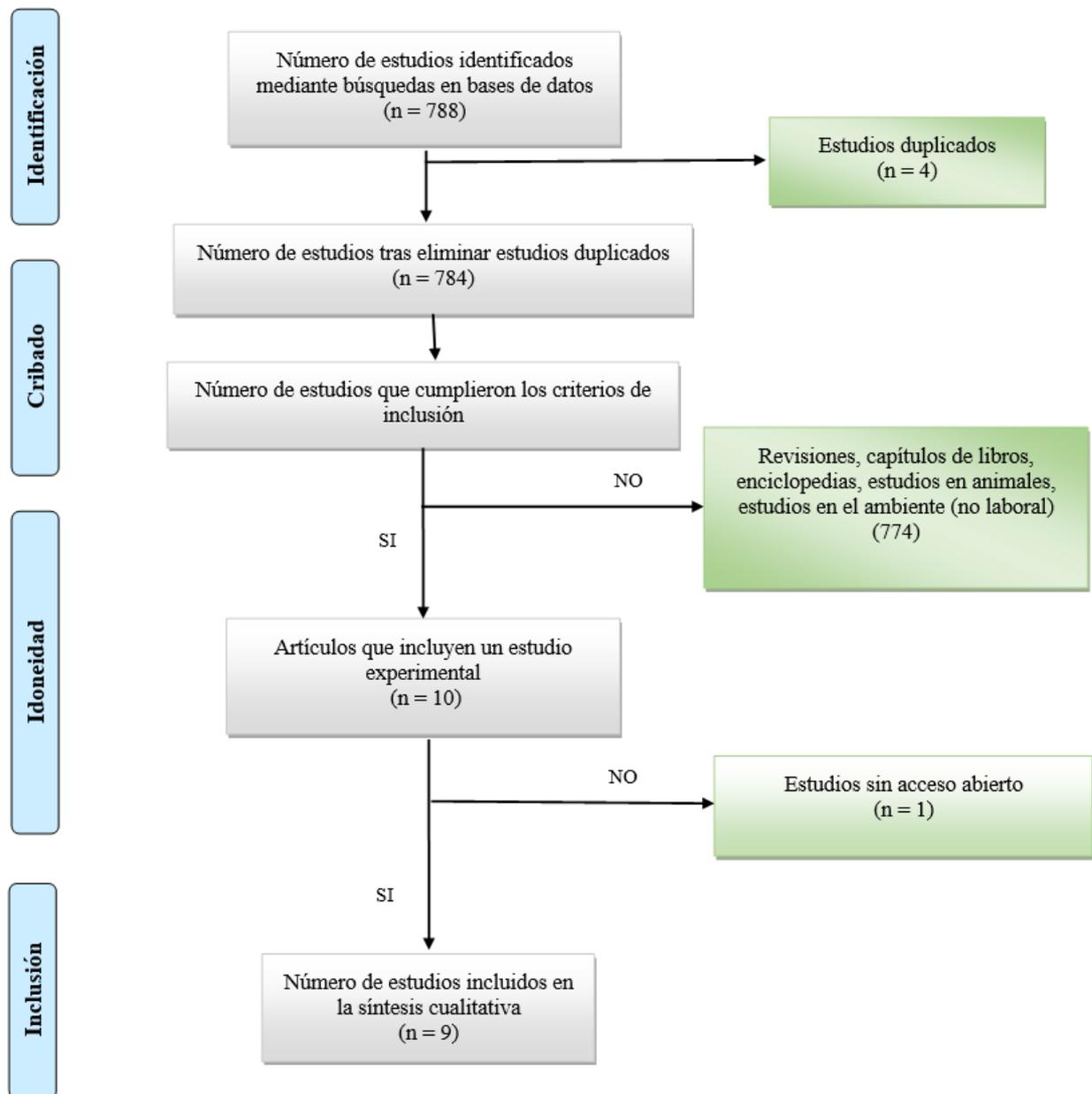
bases de datos, las restricciones relacionadas con el idioma, el grupo en estudio, la fecha de corte de la búsqueda, y la escasez de estudios centrados en la exposición laboral a microplásticos. La cantidad de estudios encontrados en cada base de datos se presenta en la Figura 1.

De los 788 artículos encontrados en las bases de datos, se eliminaron cuatro que estaban repetidos en bases de datos diferentes. Aplicando el primer filtro de exclusión relacionado al tipo de documento se descartó el 64% del total de artículos, esto debido a que los documentos eran artículos de revisión, libros, capítulos de libros, tesis y otros tipos de documentos (*UN Environment Global Chemicals Outlook II - From Legacies to Innovative Solutions: Implementing the 2030 Agenda for Sustainable Development*, 2019; Messing & Supervisors., 2021). En este filtro también se descartaron los artículos experimentales relacionados con la toxicidad en animales (siendo las abejas, peces, ratas y ratones las especies más investigadas) (Lim, Jeong, Seuk, et al., 2021), estudios in vitro (ej., células estomacales sanas y enfermas, tejidos, cadáveres) (Amato-lourenço et al., 2021; Dong et al., 2019), ambiente natural (siendo estos muy abundantes) y personas no trabajadoras (Choudhury et al., 2023). Otro criterio de selección fue que los documentos sean de acceso libre para así analizar todo el contenido. Con los criterios de exclusión solamente quedaron 9 artículos científicos.



**Figura 1.** Cantidad de artículos científicos encontrados en las bases de datos utilizadas.

En la Figura 2 se presenta el diagrama de flujo del análisis PRISMA aplicado a la toxicidad de microplásticos en los trabajadores.



**Figura 2.** Diagrama de flujo del análisis PRISMA aplicado a la toxicidad de microplásticos en los trabajadores.

El 98.9 % de los artículos encontrados se excluyeron de la investigación, al ser un número tan alto de artículos excluidos, no se referencian en el documento. Mientras que la información de los artículos con acceso abierto se presenta en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Información de los artículos incluidos.

Título	Referencia	Base de datos	DOI
An explorative study on respiratory health among operators working in polymer additive manufacturing	(Almstrand et al., 2023)		<a href="https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1148974">https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1148974</a>
The respiratory effects of occupational polypropylene flock exposure.	(Atis et al., 2005)	Google scholar	<a href="https://doi.org/10.1183/09031936.04.00138403">https://doi.org/10.1183/09031936.04.00138403</a>
Respiratory health of workers exposed to polyacrylate dust.	(Tiwari et al., 2018)		<a href="https://doi.org/10.4103/lungindia.lungindia">https://doi.org/10.4103/lungindia.lungindia</a>

164

165

166

167

168

169

Human occupational exposure to microplastics: A cross-sectional study in a plastic products manufacturing plant	(Shahsavari-pour et al., 2023).		<a href="https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163576">https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163576</a>
Case report of asthma associated with 3D printing	(House et al., 2017)		<a href="https://doi.org/10.1093/occmed/kqx129">https://doi.org/10.1093/occmed/kqx129</a>
Exposure to microplastics in the upper respiratory tract of indoor and outdoor workers	(Jiang et al., 2022)		<a href="https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136067">https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136067</a>
Characteristics and influencing factors of airborne microplastics in nail salons	(Chen et al., 2022)		<a href="https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151472">https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151472</a>
Characteristics and influencing factors of airborne microplastics in nail salons	(Chan et al., 2018)		<a href="https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151472">https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151472</a>
Environmental Microplastics in the Lower Airway of Shoe Manufacturing Workers	(Baeza-Martínez et al., 2022)	ScienceDirect	<a href="https://doi.org/10.1016/j.opres.2022.100209">https://doi.org/10.1016/j.opres.2022.100209</a>

Almstrand y otros 2023 consideraron a los trabajadores de una industria dedicada a la impresión 3D, llamada también fabricación aditiva. Esta tecnología permite la construcción, capa por capa, de objetos y piezas tridimensionales utilizadas en diferentes industrias: manufactura, medicina, aeroespacial, automoción y diseño. Los materiales empleados en la impresión 3D son variados, incluyendo polímeros/plásticos como el ácido poliláctico (PLA, por sus siglas en inglés) y Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS, por sus siglas en inglés), resinas fotosensibles, poliamidas (nylon), metales como aluminio, acero inoxidable y titanio, cerámicas y materiales compuestos. Sin embargo, esta industria presenta problemas asociados a la toxicidad de los subproductos que genera, mismos que incluyen material particulado (incluso nanométrico, <100 nm), ácido isocianico y compuestos orgánicos volátiles (COVs). La toxicidad aguda de los microplásticos incluye irritación respiratoria, dérmica y daño ocular. Mientras que las exposiciones crónicas se asocian a un riesgo potencial de desarrollar enfermedades respiratorias, como la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) y el cáncer de pulmón (Jing et al., 2021). Almstrand y otros 2023 llevaron a cabo mediciones personales de polvo inhalable y mediciones adicionales de partículas ultrafinas, junto con mediciones a largo plazo utilizando sensores de partículas. Se evaluaron diversas técnicas de impresión, que incluyeron la sinterización selectiva por láser/fusión de lecho de polvo, PolyJet/material jetting (MJ), fotopolimerización en cuba (VP)/estereolitografía y extrusión de material. La población evaluada estuvo constituida por 18 operadores (1 mujer, 17 hombres) de tres empresas diferentes, y 20 controles (7 mujeres, 13 hombres) (Almstrand et al., 2023).

Se determinó una influencia de la actividad del trabajador y las características del ambiente (ventilación) respecto a la concentración de microplásticos, encontrándose hasta >500,000 partículas/cm<sup>3</sup> en zonas de escasa ventilación. Bajo estas condiciones de exposición, los exámenes de vigilancia de la salud (Tabla 4) mostraron que tanto los operadores como el grupo de control tenían una función pulmonar normal, no existieron diferencias estadísticamente significativas en términos de niveles de Fracción de NO exhalado (FeNO), variables de oscilometría de pulso, y número de partículas exhaladas. Sin embargo, se identificaron 15 especies de fosfatidilcolina (PC) en las muestras de partículas exhaladas. El análisis de componentes principales (PCA) sugirió que la abundancia de especies de PC saturadas e insaturadas era diferente entre los grupos. Dos lípidos de PC en particular, dipalmitoilfosfatidilcolina (PC16:0\_16:0) y palmitoiloleoilfosfatidilcolina (PC16:0\_18:2), mostraron niveles significativamente diferentes entre los operadores y el grupo de control. Ambos fosfolípidos desempeñan funciones importantes en las membranas celulares, y cambios en sus niveles pueden ocasionar en los trabajadores enfermedades metabólicas, cardiovasculares, hepáticas, inflamatorias y neurodegenerativas. Además, se observó una disminución estadísticamente significativa en los niveles de apolipoproteína A1 (ApoA1) entre los operadores de fabricación aditiva, especialmente aquellos que trabajaban en extrusión de material. Un cambio en la ApoA1 se relaciona con trastornos cardiovasculares, especialmente enfermedades coronarias y aterosclerosis (Mostaza et al., 2022).

En el estudio realizado por Baeza-Martínez y otros (2022), se llevó a cabo una investigación para analizar la presencia de microplásticos en muestras de lavado broncoalveolar de 44 pacientes consecutivos programados para someterse a broncoscopías. Los participantes incluyeron 32 hombres y 12 mujeres, con edades entre 35 y 86 años. Utilizando técnicas de microscopio trinocular con zoom, análisis  $\mu$ -FTIR (espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier) y SEM-EDS (Microscopía electrónica de barrido con espectroscopía de rayos X de dispersión de energía), se identificaron y caracterizaron los microplásticos encontrados. De los 44 pacientes evaluados, nueve trabajaban en la industria del calzado y solo en ellos se detectaron microfibras de poliacrílico en sus muestras (0.34 partículas/100 mL). Estos hallazgos sugieren una posible asociación entre la exposición laboral al poliacrílico (PA) y el riesgo respiratorio (Baeza-Martínez et al., 2022).

170  
171  
172  
173  
174  
175  
176  
177  
178  
179  
180  
181  
182  
183  
184  
185  
186  
187  
188  
189  
190  
191  
192  
193  
194  
195  
196  
197  
198  
199  
200  
201  
202  
203  
204  
205  
206  
207  
208  
209  
210

Por otro lado, Atis y otros (2005) evaluaron los efectos de la exposición ocupacional de 50 trabajadores (39 hombres y 11 mujeres) a fibras sintéticas de PP utilizadas en el proceso de flocado, un método de aplicación de fibras a un sustrato adhesivo para fabricar diversos productos. Para el estudio se realizó una encuesta que incluyó información de los hábitos de los trabajadores, preexistencia de enfermedades, horas de trabajo, etc. Se observó un aumento en los síntomas respiratorios (3.6 veces) y una disminución en la función pulmonar en 13 trabajadores expuestos al PP flocado en comparación con un grupo de control. Se encontraron niveles elevados en el suero de dos citocinas inflamatorias, la interleucina-8 (IL-8) y el factor de necrosis tumoral alfa (TNF- $\alpha$ ), en los trabajadores expuestos al PP flocado, y estos niveles se correlacionaron con la disminución de la capacidad de difusión del monóxido de carbono en los pulmones (Atis et al., 2005).

Tiwari y otros (2018) realizaron un estudio transversal que incluyó a 84 trabajadores de una unidad de fabricación de PA. Se recopilaron datos demográficos, laborales y clínicos mediante entrevistas y un formulario preestablecido. Luego se realizó un examen clínico detallado, espirometría, radiografía de tórax y tomografía computarizada de alta resolución (HRCT) a cada trabajador. Con base en los exámenes clínicos, el 17.9% de los trabajadores presentaron cambios fibróticos y cavitarios en el tejido pulmonar. Los trabajadores del departamento de producción tenían más problemas respiratorios en comparación con el personal supervisor u oficinista. Factores como edad, género, hábito de fumar y duración de la exposición no resultaron significativos en la morbilidad respiratoria. Las mujeres y aquellos con problemas respiratorios mostraron valores significativamente más bajos en los parámetros espirométricos (Tiwari et al., 2018).

Shahsavari-pour y otros (2023) realizaron su estudio en una fábrica de productos plásticos en Sirjan, Irán. Se examinaron 20 trabajadores (10 de cada sexo) que usaban bolsos gigantes de plástico. Se recogieron muestras de piel, cabello, saliva y mascarillas antes/después del trabajo durante seis días. Los resultados mostraron la presencia de microplásticos en todas las matrices biológicas y mascarillas (antes del trabajo=  $91.52 \pm 25.24$ , después del trabajo=  $161,21 \pm 35,73$ ). Las mujeres que usaban protector solar y los hombres con barba tenían más microplásticos en la piel. El cabello tenía la mayor cantidad de microplásticos. La mayoría de los microplásticos eran fibras blancas o transparentes y tenían más de 1000  $\mu\text{m}$  de tamaño. Se identificaron varios polímeros en las partículas de microplásticos, predominando poliéster y el nylon. Las muestras de cabello y saliva presentaron el mayor y menor número de microplásticos, respectivamente. Se comprobó que usar guantes, bloqueador solar (toda la población de estudio), usar bufanda y talla de cabello (mujeres) y tener barba/bigote (hombres) podría tener un papel efectivo en el nivel de exposición a los microplásticos (Shahsavari-pour et al., 2023).

House y otros (2017), investigaron los efectos de ABS en un único trabajador. El trabajador era un empresario de 28 años, previamente sano, desarrolló asma tras comenzar a usar 10 impresoras 3D de ABS en un espacio de trabajo. Experimentó síntomas respiratorios, pero mejoraron cuando cambió a impresoras 3D con filamentos de ácido poliláctico (PLA) y utilizó un purificador de aire, pero persistieron. Una prueba de provocación reveló asma leve. La resolución completa de los síntomas se logró después de reducir la exposición y realizar una segunda prueba de provocación normal. Se sugiere que las emisiones de impresoras 3D, especialmente el ABS, podrían estar asociadas con problemas respiratorios y se necesita más investigación en este campo. Se menciona un caso previo de neumonitis por hipersensibilidad relacionada con la impresión 3D y una encuesta que mostró que más del 50% de los trabajadores que utilizan impresoras 3D informaron síntomas respiratorios frecuentes (House et al., 2017).

Jiang y otros (2022) analizaron la presencia de microplásticos en el tracto respiratorio superior de trabajadores tanto en ambientes interiores como exteriores. Se excluyeron participantes con enfermedades respiratorias previas, y se seleccionaron al azar tanto los trabajadores de oficina como los mensajeros para representar entornos de trabajo interiores y exteriores, respectivamente. Se recolectaron muestras de esputo y líquido de lavado nasal (muestra= 8 trabajadores, blanco= 8 trabajadores) para su análisis. Los resultados mostraron presencia de microplásticos en casi todas las muestras del tracto respiratorio interior/exterior de los trabajadores, solo en un trabajador no se encontró microplásticos. Observándose que el tipo de trabajo influye en el tipo y concentración de los contaminantes encontrados. En el esputo de los mensajeros, se encontró policarbonato (PC=24.2%) y cloruro de polivinilo (PVC) el 23.0%. Mientras que en el lavado nasal del mismo grupo de trabajadores se encontró predominancia de poliamida (PA, 25.3%), seguida del PE (22.9%). Por otro lado, el personal de oficina presentó mayor presencia de PVC (39.1%) y poliamida (24.8%) en el esputo, y PVC (41.1%) y poliamida (31.6%) en el lavado nasal (Jiang et al., 2022).

Chen y otros (2023) también evaluaron la concentración de microplásticos en el ambiente de trabajo. Este estudio se enfocó en la evaluación de microplásticos (MP) en salones de uñas en Taiwán durante los horarios comerciales entre febrero y abril de 2021. Se recogieron muestras de aire tanto en el interior como en el exterior de seis salones de uñas y se utilizaron dos métodos para analizar los MP: microscopía para identificar su forma y color, y espectroscopía infrarroja para determinar sus composiciones de polímeros y tamaños. Se observó que la exposición estimada a microplásticos por inhalación fue mayor en los salones de uñas con un mayor número de ocupantes y aquellos con aire acondicionado sin ventilación adecuada. Además, se encontró que los pisos y techos de plástico en los salones contribuyeron a concentraciones más altas de MP. La relación entre la concentración de MP en interiores y exteriores fue insignificante. Estos resultados indican que los salones de uñas representan un entorno con concentraciones significativamente altas de MP, lo que podría plantear riesgos para la salud de los trabajadores y clientes. Se necesita más investigación para comprender completamente las fuentes y los efectos de la exposición a MP en este entorno (Chen et al., 2022).

Chan y otros aplicaron una encuesta para determinar la posible asociación entre el uso de tecnología de impresión 3D y problemas de salud en 46 trabajadores (37 hombres, 9 mujeres) de 17 empresas en Toronto, Canadá. Los materiales más utilizados fueron PLA (45%), ABS (19%), y nylon (16%). Se encontró que el 59% de los trabajadores informó síntomas respiratorios frecuentes, y trabajar más de 40 horas por semana con impresoras 3D se asoció significativamente con diagnósticos relacionados con las vías respiratorias, como el asma o la rinitis alérgica. Además, se observaron diferencias significativas en las prácticas de higiene ocupacional en los lugares de trabajo evaluados (Chan et al., 2018).

La Tabla 3 proporciona información complementaria sobre las características de los microplásticos, sus concentraciones en diferentes entornos laborales e industrias. Estos datos revelan una variedad significativa en las características de los microplásticos, como su tipo, tamaño y morfología, lo que demuestra la complejidad de este problema. Además, las concentraciones de microplásticos varían significativamente entre las distintas industrias, lo que sugiere que algunos trabajadores pueden estar expuestos a niveles más altos que otros.

**Tabla 3.** Características de los microplásticos, concentración en el ambiente y efectos en la salud del trabajador.

Características de la microfibr			Concentración de los microplásticos	Industria	Referencia
Tipo	Tamaño	Morfología			
-	-	Partículas	Hasta $4.8 \times 10^5$ partículas/cm <sup>3</sup>	Impresión 3D	(Almstrand et al., 2023)
PLA, ABS, nylon	-	-	-		(Chan et al., 2018)
PA	-	Microfibras	-	Trabajadores de calzado	(Baeza-Martínez et al., 2022)
PP	Diámetro= 6.9 ± 2.1 mm	Microfibras	0.2 mg/m <sup>3</sup>	Extrusión/Flocado	(Atis et al., 2005)
PA	-	-	-	Fabricación de PA	(Tiwari et al., 2018)
Poliéster, nylon, tereftalato de PE, poliamida, tereftalato de polibutileno y PE de alta densidad.	100 a 5000 µm	Partículas (Poliédricas y esféricas), Fibras	Cabello: $49.36 \pm 3.53$ , Saliva: $4.15 \pm 0.47$ , Piel de manos: $31.21 \pm 1.83$ , Piel facial: $19.63 \pm 1.85$ , Mascarilla: $56.84 \pm 3.57$ Partículas	Fábrica de bolsas plásticas	(Shahsavaripour et al., 2023b)
PC y PVC (personal de oficina) PVC y poliamida (mensajeros) Otros (PU, PP, PE)	-	Fibras (83.3–94.3%) Otros (5.7–16.7%)	102.9 partículas/g (mensajeros) 134.3 partículas/g (personal de oficina)	Personal de oficina de una unidad provincial y mensajeros que operaban dentro de un radio de 3 km de la oficina	(Jiang et al., 2022)
Acrílico (27%), caucho (21%) y PU (13%)	<50 µm	Partículas	$46 \pm 55$ microplásticos/m <sup>3</sup> $67567 \pm 81,782$ microplásticos/año	Personal de manicura	(Chen et al., 2022)

En cuanto a los biomarcadores y efectos en la salud del trabajador presentados en la Tabla 4, se observa que varios estudios han investigado una variedad de marcadores biológicos y efectos en la salud. Estos biomarcadores incluyen productos químicos en la orina, función hepática, marcadores inflamatorios, función pulmonar y otros. Los resultados sugieren que la exposición a microplásticos puede estar relacionada con una serie de efectos adversos para la salud, como trastornos cardiovasculares, enfermedades respiratorias, deterioro funcional pulmonar y morbilidad

respiratoria. Sin embargo, es importante destacar que algunos estudios no especifican claramente los efectos observados (N.E. o N.A.), lo que indica la necesidad de una investigación más detallada y específica en estos campos.

**Tabla 4.** Exámenes de vigilancia de la salud y efectos en la salud del trabajador.

Estudio	Muestra/Medición	Biomarcador	Efectos en la salud
Almstrand et al., (2023)	Orina	Alfa-1-microglobulina (U- $\alpha$ 1 M)	Alteraciones a fosfolípidos, asociados a trastornos cardiovasculares, especialmente enfermedades coronarias y aterosclerosis.
	Sangre	Función hepática: aspartato aminotransferasa (ASAT), alanina aminotransferasa (ALAT), fosfatasa alcalina (ALP). Enfermedad cardiovascular: apolipoproteína B (ApoB) y ApoA1. Marcador inflamatorio proteínas de fase aguda del suero A (SAA). Proteína de actividad antioxidante paraoxonasa-1 (PON1)	
	Función pulmonar	N.A.	
	Oscilometría de impulso FeNO Partículas en el aire exhalado		
Baeza-Martínez et al. (2022)	Lavado broncoalveolar	N.E.	Enfermedades respiratorias N.E.
Atis et al. (2005)	Función pulmonar y de difusión de CO	N.A.	Deterioro funcional pulmonar de tipo restrictivo y con capacidad de difusión reducida.
	Radiografía de tórax Medición de citocinas	IL-8 y TNF-a	
Tiwari et al. (2018)	Función pulmonar y de difusión de CO Radiografía de tórax	N.A.	Morbilidad respiratoria: Lesiones fibróticas/fibrocalcificadas/cavitatorias. Fibrosis con patrón reticulonodular, opacidades en vidrio esmerilado, cambios bronquiectásicos, bronquiectasias leves, enfisema paraseptal
Shahsavari-pour et al. (2023)	Saliva Piel (manos/pies) Cabello Mascarillas	N.A.	Enfermedades respiratorias, problemas linfático y circulatorio N.E.
Chan et al. (2018)	N.A.	N.A.	Congestión nasal, rinorrea, tos, picor de nariz, garganta u ojos, piel seca o prurito en las manos y asma.
House et al. (2017)	Electrocardiograma Radiografía de tórax Espirometría Prueba de provocación con metacolina	N.A.	Dificultad para respirar, opresión en el pecho, tos, asma leve
Jiang et al. (2022)	Espuito Lavado nasal	N.A.	N.A.

N.A.: No aplica, N.E.: No especificado

291  
292

293

294  
295

Debido a los efectos que ocasionan los microplásticos en la salud de los trabajadores, y considerando la poca e incompleta información disponible, es necesario tomar medidas que eviten/disminuyan los efectos adversos que causan los microplásticos en la salud del trabajador. Minimizar estos efectos implica:

- Educar/capacitar: Informar a los trabajadores sobre los riesgos de la exposición a microplásticos y cómo protegerse. La capacitación debe incluir el manejo seguro, el uso adecuado del equipo de protección personal (EPP) y los procedimientos de limpieza y descontaminación.
- Uso de EPP: Asegurarse de que los trabajadores usen el EPP adecuado, como guantes, mascarillas, gafas de seguridad y ropa de trabajo, para evitar el contacto directo con microplásticos.
- Control de emisiones y ventilación: Implementar sistemas de control de emisiones y garantizar una buena ventilación en las áreas de trabajo para reducir la exposición a microplásticos en el aire.
- Mantener buenas prácticas de higiene: Establecer procedimientos adecuados para la higiene personal y la limpieza de áreas de trabajo para minimizar la dispersión de microplásticos y evitar su ingestión o inhalación.
- Monitoreo ambiental: Realizar monitoreos periódicos para medir los niveles de microplásticos en el ambiente laboral y tomar medidas correctivas si es necesario.
- Promover el uso responsable de plásticos: Buscar alternativas a los productos plásticos en el lugar de trabajo y fomentar el reciclaje y la gestión adecuada de los desechos plásticos siempre que sea posible.
- Cumplir con las políticas y regulaciones: Asegurarse de cumplir con las políticas y regulaciones relacionadas con la exposición a microplásticos en el lugar de trabajo, y considerar la implementación de medidas adicionales de protección si es necesario.
- Permanecer actualizado con investigaciones y monitoreo continuo: Mantenerse informado sobre las últimas investigaciones y estudios sobre los efectos de los microplásticos en la salud para actualizar constantemente las medidas de prevención y protección (Cheriyán & Choi, 2020; Murashov, Geraci, Schulte, Howard, et al., 2021).

#### 4. Discusión

Con esta revisión sistemática se comprueba que los microplásticos pueden generar efectos adversos en la salud de los trabajadores. De hecho, estos xenobióticos pueden producir efectos más graves o en menos tiempo en la población trabajadora, que en la población en general, debido a que están expuestos a mayor concentración (Munoz et al., 2023). Los estudios de toxicidad en humanos y animales han revelado que los microplásticos pueden tener efectos adversos, como irritaciones gastrointestinales, daño a nivel celular en los pulmones, respuestas inflamatorias y efectos sobre la piel. Además, se ha observado que causan síntomas respiratorios como tos, sibilancias y dificultad para respirar debido a la irritación pulmonar causada por las partículas en suspensión. La exposición prolongada a microplásticos también se asocia a efectos inflamatorios en el sistema respiratorio, lo que aumentaría el riesgo de desarrollar enfermedades pulmonares crónicas, incluido el cáncer de pulmón (J. Xu et al., 2022). Las enfermedades mencionadas se han producido a través de mecanismos como la sobrecarga de polvo, el estrés oxidativo y la citotoxicidad. Las muestras tomadas en el ambiente laboral y en los trabajadores que presentaron mayores concentraciones son aquellas que se encuentran en contacto directo con el xenobiótico (principalmente en el área de producción). Sin embargo, el resto de trabajadores (ej. oficinistas) no están exentos de presentar efectos adversos en su salud (Murashov, Geraci, Schulte, Howard, et al., 2021).

A pesar de haber cumplido con el objetivo de la investigación, es importante mencionar que este estudio se enfrentó a una limitación importante en cuanto a la disponibilidad de información con datos completos de estudios específicos en trabajadores. Aun cuando se revisaron más de 700 artículos, solo 9 estudios cumplieron con los criterios de inclusión del método PRISMA utilizado, lo que indica que pueden existir sesgos de selección en la investigación. El segundo posible sesgo es el de publicación, resultados significativos o positivos tienen más probabilidades de ser publicados que aquellos con resultados no significativos o negativos (literatura gris); y el tercero el del idioma. Asimismo, hay que recalcar que la heterogeneidad entre los resultados de los estudios revisados puede asociarse a diversas razones, como diferencias en la exposición, protección personal, medidas de prevención distintas, diseños y metodologías de estudio variados, características demográficas de los trabajadores, sensibilidad y especificidad de las mediciones, factores ambientales y geográficos, periodo de seguimiento, e interacción con otras sustancias químicas presentes en el ambiente laboral. Dadas estas restricciones, se consideró inapropiado aplicar las escalas de evaluación de calidad de información (Newcastle-Ottawa/Jadad), ya que estas se enfocan en estudios más específicos y homogéneos. En lugar de ello, se optó por llevar a cabo una síntesis narrativa de los hallazgos de los 9 artículos, proporcionando una descripción detallada de sus resultados.

Con la información obtenida, se determinó que la situación actual es preocupante puesto que la producción del plástico oscila alrededor de 359 millones de toneladas a nivel mundial, es decir hay muchas personas relacionadas con la industria del plástico (Wang et al., 2021). Si bien no se conoce con precisión el número de trabajadores relacionados con el manejo del plástico en cualquiera de sus etapas (síntesis del monómero, procesamiento, reciclaje, disposición final), sí se conoce que gracias a la versatilidad que tienen los polímeros tienen varias aplicaciones, destacándose la impresión 3D, industria textil, fabricación de neumáticos, construcción y limpieza. Sin embargo, considerando los

enfoques de la economía circular y los objetivos de Desarrollo Sostenible, a este grupo se han sumado los recicladores y las personas que procesan el material reciclado; grupos tampoco estudiados.

Mientras se da solución a todos los problemas asociados a la toxicidad de los microplásticos, los esfuerzos de seguridad en el lugar de trabajo deben centrarse en minimizar la exposición. Por lo cual es importante considerar las medidas mencionadas en la sección de resultados. Además, es importante destacar las limitaciones de la evidencia y la importancia de futuros estudios con un mayor número de participantes y diseños metodológicos más sólidos para obtener conclusiones generalizables sobre la relación entre la exposición laboral a microplásticos y los efectos adversos en la salud de los trabajadores. A pesar de que no fue posible realizar un análisis estadístico cuantitativo y verificar la calidad de la información por lo mencionado previamente, esta revisión ofrece una valiosa perspectiva sobre el tema y destaca la necesidad de futuras investigaciones más sólidas y completas en este campo emergente.

## 5. Conclusiones

La revisión de los diversos estudios sobre la exposición a microplásticos en entornos laborales, como la impresión 3D, la fabricación de productos plásticos y salones de uñas, revela una gama de concentraciones y efectos potenciales en la salud de los trabajadores. Estos efectos abarcan desde problemas respiratorios agudos hasta preocupaciones de salud crónicas, como enfermedades cardiovasculares. Para abordar estos riesgos, se deben implementar medidas preventivas, incluyendo la capacitación de los trabajadores, el uso adecuado de equipos de protección personal y la mejora de las condiciones ambientales en los lugares de trabajo. Es relevante destacar que, hasta el momento, la mayoría de los estudios disponibles se han centrado en la presencia de microplásticos en el medio ambiente natural, y existe una falta de investigación específica sobre la toxicidad de estos materiales en trabajadores. Abordar esta limitación requerirá realizar más investigaciones enfocadas y específicas para comprender mejor los riesgos asociados y proponer políticas preventivas. Además, es fundamental establecer normativas y valores umbrales para la exposición a microplásticos en el entorno laboral, con el objetivo de proteger la salud de los trabajadores.

**Contribución de los Autores:** “Conceptualización, Cristina E. Almeida-Naranjo. y Yolis Campos; metodología, Cristina E. Almeida-Naranjo; análisis formal, Cristina E. Almeida-Naranjo; escritura—preparación de borrador o draft original, Cristina E. Almeida-Naranjo; escritura—revisión y edición, Yolis Campos; visualización final, Yolis Campos; supervisión, Yolis Campos.

**Agradecimientos:** Personas, Instituciones. En esta sección, puede reconocer cualquier apoyo brindado que no esté cubierto por las secciones de contribución o financiamiento del autor. Esto puede incluir apoyo administrativo y técnico, logístico, o donaciones en especie (por ejemplo, materiales utilizados para experimentos).

**Conflictos de Interés:** Los autores declaran no tener conflicto de interés.

## Referencias citadas

- Almstrand, A.-C., Bredberg, A., Runström, G., Karlsson, H., Assenhøj, M., & Koca, H. (2023). An explorative study on respiratory health among operators working in polymer additive manufacturing. *Frontiers in Public Health*, *April*, 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1148974>
- Alonso-ferna, S., Urru, G., & Jose, J. (2021). Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*, *x*. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>
- UN Environment Global Chemicals Outlook II - From Legacies to Innovative Solutions: Implementing the 2030 Agenda for Sustainable Development, (2019).
- Amato-lourenço, L. F., Carvalho-oliveira, R., Ribeiro, G., & Galv, S. (2021). Presence of airborne microplastics in human lung tissue. *Journal of Hazardous Materials*, *416*(May). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126124>
- Atis, S., Tutluoglu, B., Levent, E., Ozturk, C., Tunaci, A., Sahin, K., Saral, A., Oktay, I., Kanik, A., & Nemery, B. (2005). The respiratory effects of occupational polypropylene flock exposure. *European Respiratory Journal*, *25*(1), 110–117. <https://doi.org/10.1183/09031936.04.00138403>
- Baeza-Martínez, C., Zamora-Molina, L., Garcia-Pachon, E., Masiá, M., Hernandez-Blasco, L., & Bayo, J. (2022). Environmental Microplastics in the Lower Airway of Shoe Manufacturing Workers. *Open Respiratory Archives*, *4*(4), 100209. <https://doi.org/10.1016/j.opresp.2022.100209>
- Bai, C., Liu, L., Hu, Y., Zeng, E. Y., & Guo, Y. (2022). A review of analytical methods , occurrence and characteristics in food , and potential toxicities to biota. *Science of the Total Environment*, *806*, 150263. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150263>
- Chan, F. L., House, R., Kudla, I., Lipszyc, J. C., Rajaram, N., & Tarlo, S. M. (2018). Health survey of employees regularly using 3D printers. *Occupational Medicine*, *68*(3), 211–214. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqy042>
- Chen, E., Lin, K.-T., Jung, C.-C., Chang, C.-L., & Chen, C.-Y. (2022). Characteristics and influencing factors of airborne microplastics in nail salons. *Science of the Total Environment*, *806*(February), 2022–2024. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151472>.

- Cheriyian, D., & Choi, J. (2020). A REVIEW OF RESEARCH ON PARTICULATE MATTER POLLUTION IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY. *Journal of Cleaner Production*, 120077. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120077>
- Choudhury, A., Zarreen, F., Singh, D., Patel, P., Kumar, S., Kumar, N., & Kumar, P. (2023). Atmospheric microplastic and nanoplastic : The toxicological paradigm on the cellular system. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 259(May), 115018. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115018>
- Dong, C., Chen, C., Chen, Y., Lee, J., & Lin, C. (2019). Polystyrene microplastic particles: In vitro pulmonary toxicity assessment. *Journal of Hazardous Materials*, 121575. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121575>
- Facciol, A., Visalli, G., Ciarello, M. P., & Pietro, A. Di. (2021). Newly Emerging Airborne Pollutants : Current Knowledge of Health Impact of Micro and Nanoplastics. *International Journal of Environmental Research and Public Health*.
- Horton, A. A., Walton, A., Spurgeon, D. J., Lahive, E., & Svendsen, C. (2017). Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities. *Science of the Total Environment*, 586, 127–141. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.190>
- House, R., Rajaram, N., & Tarlo, S. M. (2017). Case report of asthma associated with 3D printing. *Occupational Medicine*, 67(8), 652–654. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqx129>
- Jiang, Y., Han, J., Na, J., Fang, J., Qi, C., Lu, J., Liu, X., Zhou, C., Feng, J., & Zhu, W. (2022). Exposure to microplastics in the upper respiratory tract of indoor and outdoor workers. *Chemosphere*, 307(November), 2019–2023. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136067>
- Jing, A., Kumar, V., & Kannan, K. (2021). A review of environmental occurrence , toxicity , biotransformation and biomonitoring of volatile organic compounds. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 3, 91–116. <https://doi.org/10.1016/j.enceco.2021.01.001>
- Lee, C. H., Guo, Y. L., Tsai, P. J., Chang, H. Y., Chen, C. R., Chen, C. W., & Hsiue, T. R. (1997). Fatal acute pulmonary oedema after inhalation of fumes from polytetrafluoroethylene (PTFE). *European Respiratory Journal*, 10(6), 1408–1411. <https://doi.org/10.1183/09031936.97.10061408>
- Li, J., Liu, H., & Paul Chen, J. (2018). Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water Research*, 137, 362–374. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.056>
- Lim, D., Jeong, J., Seuk, K., Hyuck, J., Min, S., & Choi, J. (2021). Inhalation toxicity of polystyrene micro ( nano ) plastics using modified OECD TG 412. *Chemosphere*, 262, 128330. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128330>
- Lim, D., Jeong, J., Song, K. S., Sung, J. H., Oh, S. M., & Choi, J. (2021). Inhalation toxicity of polystyrene micro(nano)plastics using modified OECD TG 412. *Chemosphere*, 262, 128330. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128330>
- Limbach, L. K., Wick, P., Manser, P., Grass, R. N., Bruinink, A., & Stark, W. J. (2007). Exposure of engineered nanoparticles to human lung epithelial cells: Influence of chemical composition and catalytic activity on oxidative stress. *Environmental Science and Technology*, 41(11), 4158–4163. <https://doi.org/10.1021/es062629t>
- Lougheed, M. D., Roos, J. O., Waddell, W. R., & Munt, P. W. (1995). Desquamative interstitial pneumonitis and diffuse alveolar damage in textile workers: Potential role of mycotoxins. *Chest*, 108(5), 1196–1200. <https://doi.org/10.1378/chest.108.5.1196>
- Madhav, C. V., Kesav, R. S. N. H., & Narayan, Y. S. (2016). Importance and Utilization of 3D Printing in Various Applications. *Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*, 5, 24–29.
- Messing, D. A., & Supervisors: (2021). *Developing a framework for sustainable actions that civil society can undertake to mitigate the impact that microplastics have on human health . A scoping review of literature.*
- Mostaza, J. M., Pintó, X., Armario, P., Masana, L., Real, J. T., Valdivielso, P., Arrobas-velilla, T., Baeza-trinidad, R., Calmarza, P., Cebollada, J., Civera-andrés, M., Melero, J. I. C., Díaz-díaz, J. L., Pardo, J. F., Guijarro, C., Jericó, C., & Laclaustra, M. (2022). Estándares SEA 2022 para el control global del riesgo cardiovascular. *Clínica e Investigación En Arteriosclerosis*, 34. <https://doi.org/10.1016/j.arteri.2021.11.003>
- Munoz, A., Schmidt, J., Suffet, I. H. M., & Tsai, C. S. (2023). Characterization of Emissions from Carbon Dioxide Laser Cutting Acrylic Plastics. *ACS Chemical Health and Safety*. <https://doi.org/10.1021/acs.chas.3c00013>
- Murashov, V., Geraci, C. L., Schulte, P. A., & Howard, J. (2021). Nano- and microplastics in the workplace. *Journal of Occupational and*

- Environmental Hygiene*, 18(10–11), 489–494. <https://doi.org/10.1080/15459624.2021.1976413> 448
- Murashov, V., Geraci, C. L., Schulte, P. A., Howard, J., Murashov, V., Geraci, C. L., Schulte, P. A., Howard, J., Murashov, V., Geraci, C. L., Schulte, P. A., & Howard, J. (2021). Nano- and microplastics in the workplace. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 18(10–11), 489–494. <https://doi.org/10.1080/15459624.2021.1976413> 449  
450  
451
- P.Sivasankaran, & B.Radjaram. (2020). 3D PRINTING AND ITS IMPORTANCE IN ENGINEERING. *2020 International Conference on System, Computation, Automation and Networking (ICSCAN)*, 3–5. 452  
453
- Pironti, C., Ricciardi, M., Oriana, M., Miele, Y., & Proto, A. (2021). Microplastics in the Environment: Intake through the Food Web, Human Exposure and Toxicological Effects. *Toxics*, 1–29. 454  
455
- Prata, J. C. (2018). Airborne microplastics: Consequences to human health? *Environmental Pollution*, 234, 115–126. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.043> 456  
457
- Shahsavaripour, M., Abbasi, S., Mirzaee, M., & Amiri, H. (2023). Human occupational exposure to microplastics: A cross-sectional study in a plastic products manufacturing plant. *Science of the Total Environment*, 882(April), 163576. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163576> 458  
459  
460
- Soutar, C. A., Copland, L. H., Thornley, P. E., Hurley, J. F., Ottery, J., Adams, W. G. F., & Bennett, B. (1980). Epidemiological study of respiratory disease in workers exposed to polyvinylchloride dust. *Thorax*, 35(9), 644–652. <https://doi.org/10.1136/thx.35.9.644> 461  
462
- Stefaniak, A. B., Johnson, A. R., du Preez, S., Hammond, D. R., Wells, J. R., Ham, J. E., LeBouf, R. F., Martin, S. B., Duling, M. G., Bowers, L. N., Knepp, A. K., de Beer, D. J., & du Plessis, J. L. (2019). Insights Into Emissions and Exposures From Use of Industrial-Scale Additive Manufacturing Machines. *Safety and Health at Work*, 10(2), 229–236. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2018.10.003> 463  
464  
465
- Stefaniak, Aleksandr B., Bowers, L. N., Knepp, A. K., Virji, M. A., Birch, E. M., Ham, J. E., Wells, J. R., Qi, C., Schwegler-Berry, D., Friend, S., Johnson, A. R., Martin, S. B., Qian, Y., LeBouf, R. F., Birch, Q., & Hammond, D. (2018). Three-dimensional printing with nano-enabled filaments releases polymer particles containing carbon nanotubes into air. *Indoor Air*, 28(6), 840–851. <https://doi.org/10.1111/ina.12499> 466  
467  
468
- Sun, X., Song, R., Liu, J., & Yan, S. (2023). Characterization of airborne microplastics at different workplaces of the poly (ethylene : propylene:diene) (EPDM) rubber industry. *Environmental Science and Pollution Research*, 1–13. 469  
470
- Tiwari, R. R., Sadhu, H. G., & Sharma, Y. K. (2018). Respiratory health of workers exposed to polyacrylate dust. *Lung India*, 35(1), 41–46. <https://doi.org/10.4103/lungindia.lungindia> 471  
472
- Wang, C., Xu, M., Liu, Y., Chen, W., Zhu, B., & Qu, S. (2021). Critical review of global plastics stock and flow data. *Journal of Industrial Ecology*, 1–18. <https://doi.org/10.1111/jiec.13125> 473  
474
- Xu, H., Hoet, P. H. M., & Nemery, B. (2002). In vitro toxicity assessment of polyvinyl chloride particles and comparison of six cellular systems. *Journal of Toxicology and Environmental Health - Part A*, 65(16), 1141–1159. <https://doi.org/10.1080/152873902760125372> 475  
476
- Xu, J., Lin, X., Jing, J., & Gowen, A. A. (2022). A review of potential human health impacts of micro- and nanoplastics exposure. *Science of the Total Environment*, 851(August), 158111. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158111> 477  
478  
479  
480  
481  
482  
483  
484  
485  
486  
487  
488  
489  
490  
491  
492  
493  
494  
495  
496  
497  
498  
499

Anexos:

Tabla 5: Lista de verificación PRISMA 2020

Sección/tema	Ítem N.º	Ítem de la lista de verificación	Localización del ítem en la publicación
<b>TÍTULO</b>			
Título	1	Identifique la publicación como una revisión sistemática.	Página 1
<b>RESUMEN</b>			
Resumen estructurado	2	<a href="#">Vea la lista de verificación para resúmenes estructurados de la declaración PRISMA 2020 (tabla 2).</a>	NA
<b>INTRODUCCIÓN</b>			
Justificación	3	Describa la justificación de la revisión en el contexto del conocimiento existente.	Páginas 2 y 3
Objetivos	4	Proporcione una declaración explícita de los objetivos o las preguntas que aborda la revisión.	Páginas 2 y 3
<b>MÉTODOS</b>			
Criterios de elegibilidad	5	Especifique los criterios de inclusión y exclusión de la revisión y cómo se agruparon los estudios para la síntesis.	Página 4
Fuentes de información	6	Especifique todas las bases de datos, registros, sitios web, organizaciones, listas de referencias y otros recursos de búsqueda o consulta para identificar los estudios. Especifique la fecha en la que cada recurso se buscó o consultó por última vez.	Página 3
Estrategia de búsqueda	7	Presente las estrategias de búsqueda completas de todas las bases de datos, registros y sitios web, incluyendo cualquier filtro y los límites utilizados.	Página 3
Proceso de selección de los estudios	8	Especifique los métodos utilizados para decidir si un estudio cumple con los criterios de inclusión de la revisión, incluyendo cuántos autores de la revisión cribaron cada registro y cada publicación recuperada, si trabajaron de manera independiente y, si procede, los detalles de las herramientas de automatización utilizadas en el proceso.	Páginas 3 y 4
Proceso de extracción de los datos	9	Indique los métodos utilizados para extraer los datos de los informes o publicaciones, incluyendo cuántos revisores recopilaron datos de cada publicación, si trabajaron de manera independiente, los procesos para obtener o confirmar los datos por parte de los investigadores del estudio y, si procede, los detalles de las herramientas de automatización utilizadas en el proceso.	Métodos utilizados: Página 4. Los demás criterios N.A.
Lista de los datos	10a	Enumere y defina todos los desenlaces para los que se buscaron los datos. Especifique si se buscaron todos los resultados compatibles con cada dominio del desenlace (por ejemplo, para todas las escalas de medida, puntos temporales, análisis) y, de no ser así, los métodos utilizados para decidir los resultados que se debían recoger.	Páginas 4 y 5
	10b	Enumere y defina todas las demás variables para las que se buscaron datos (por ejemplo, características de los participantes y de la intervención, fuentes de financiación). Describa todos los supuestos formulados sobre cualquier información ausente ( <i>missing</i> ) o incierta.	

Evaluación del riesgo de sesgo de los estudios individuales	11	Especifique los métodos utilizados para evaluar el riesgo de sesgo de los estudios incluidos, incluyendo detalles de las herramientas utilizadas, cuántos autores de la revisión evaluaron cada estudio y si trabajaron de manera independiente y, si procede, los detalles de las herramientas de automatización utilizadas en el proceso.	Página 8
Medidas del efecto	12	Especifique, para cada desenlace, las medidas del efecto (por ejemplo, razón de riesgos, diferencia de medias) utilizadas en la síntesis o presentación de los resultados.	Páginas 5-7
Métodos de síntesis	13a	Describa el proceso utilizado para decidir qué estudios eran elegibles para cada síntesis (por ejemplo, tabulando las características de los estudios de intervención y comparándolos con los grupos previstos para cada síntesis (ítem n.º 5)).	Páginas 4,5 13d-13f: NA
	13b	Describa cualquier método requerido para preparar los datos para su presentación o síntesis, tales como el manejo de los datos perdidos en los estadísticos de resumen o las conversiones de datos.	
	13c	Describa los métodos utilizados para tabular o presentar visualmente los resultados de los estudios individuales y su síntesis.	
	13d	Describa los métodos utilizados para sintetizar los resultados y justifique sus elecciones. Si se ha realizado un metanálisis, describa los modelos, los métodos para identificar la presencia y el alcance de la heterogeneidad estadística, y los programas informáticos utilizados.	
	13e	Describa los métodos utilizados para explorar las posibles causas de heterogeneidad entre los resultados de los estudios (por ejemplo, análisis de subgrupos, metarregresión).	
	13f	Describa los análisis de sensibilidad que se hayan realizado para evaluar la robustez de los resultados de la síntesis.	
Evaluación del sesgo en la publicación	14	Describa los métodos utilizados para evaluar el riesgo de sesgo debido a resultados faltantes en una síntesis (derivados de los sesgos en las publicaciones).	Página 8
Evaluación de la certeza de la evidencia	15	Describa los métodos utilizados para evaluar la certeza (o confianza) en el cuerpo de la evidencia para cada desenlace.	Página 8
<b>RESULTADOS</b>			
Selección de los estudios	16a	Describa los resultados de los procesos de búsqueda y selección, desde el número de registros identificados en la búsqueda hasta el número de estudios incluidos en la revisión, idealmente utilizando un diagrama de flujo (ver figura 1).	Páginas 5, 6
	16b	Cite los estudios que aparentemente cumplían con los criterios de inclusión, pero que fueron excluidos, y explique por qué fueron excluidos.	
Características de los estudios	17	Cite cada estudio incluido y presente sus características.	Páginas 6, 7
Riesgo de sesgo de los estudios individuales	18	Presente las evaluaciones del riesgo de sesgo para cada uno de los estudios incluidos.	Página 9

Resultados de los estudios individuales	19	Presente, para todos los desenlaces y para cada estudio: a) los estadísticos de resumen para cada grupo (si procede) y b) la estimación del efecto y su precisión (por ejemplo, intervalo de credibilidad o de confianza), idealmente utilizando tablas estructuradas o gráficos.	NA
Resultados de la síntesis	20a	Para cada síntesis, resuma brevemente las características y el riesgo de sesgo entre los estudios contribuyentes.	20a: Páginas 6 y 7 20b: NA 20c: Página 8 20d: NA
	20b	Presente los resultados de todas las síntesis estadísticas realizadas. Si se ha realizado un metanálisis, presente para cada uno de ellos el estimador de resumen y su precisión (por ejemplo, intervalo de credibilidad o de confianza) y las medidas de heterogeneidad estadística. Si se comparan grupos, describa la dirección del efecto.	
	20c	Presente los resultados de todas las investigaciones sobre las posibles causas de heterogeneidad entre los resultados de los estudios.	
	20d	Presente los resultados de todos los análisis de sensibilidad realizados para evaluar la robustez de los resultados sintetizados.	
Sesgos en la publicación	21	Presente las evaluaciones del riesgo de sesgo debido a resultados faltantes (derivados de los sesgos de en las publicaciones) para cada síntesis evaluada.	NA
Certeza de la evidencia	22	Presente las evaluaciones de la certeza (o confianza) en el cuerpo de la evidencia para cada desenlace evaluado.	NA
<b>DISCUSIÓN</b>			
Discusión	23a	Proporcione una interpretación general de los resultados en el contexto de otras evidencias.	Páginas 7-9
	23b	Argumente las limitaciones de la evidencia incluida en la revisión.	
	23c	Argumente las limitaciones de los procesos de revisión utilizados.	
	23d	Argumente las implicaciones de los resultados para la práctica, las políticas y las futuras investigaciones.	
<b>OTRA INFORMACIÓN</b>			
Registro y protocolo	24a	Proporcione la información del registro de la revisión, incluyendo el nombre y el número de registro, o declare que la revisión no ha sido registrada.	NA
	24b	Indique dónde se puede acceder al protocolo, o declare que no se ha redactado ningún protocolo.	
	24c	Describa y explique cualquier enmienda a la información proporcionada en el registro o en el protocolo.	
Financiación	25	Describa las fuentes de apoyo financiero o no financiero para la revisión y el papel de los financiadores o patrocinadores en la revisión.	NA
Conflicto de intereses	26	Declare los conflictos de intereses de los autores de la revisión.	Página 10

Disponibilidad de datos, códigos y otros materiales	27	Especifique qué elementos de los que se indican a continuación están disponibles al público y dónde se pueden encontrar: plantillas de formularios de extracción de datos, datos extraídos de los estudios incluidos, datos utilizados para todos los análisis, código de análisis, cualquier otro material utilizado en la revisión.	NA
---	----	---	----



**FACULTAD DE CIENCIAS DEL TRABAJO Y  
COMPORTAMIENTO HUMANO**

**Trabajo de fin de Carrera titulado:**

**POTENCIALES EFECTOS TÓXICOS QUE PRODUCEN LOS MICROPLÁSTICOS  
EN LA SALUD DE LOS TRABAJADORES: REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA  
LITERATURA**

**Realizado por:**

**CRISTINA ELIZABETH ALMEIDA NARANJO**

**Director del proyecto:**

**DRA. YOLIS CAMPOS**

**Como requisito para la obtención del título de:**

**MAGISTER EN SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL**

**Quito, 13 septiembre del 2023**

## DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, Cristina Elizabeth Almeida Naranjo, ecuatoriano, con Cédula de ciudadanía N° 1720231552, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional, y se basa en las referencias bibliográficas descritas en este documento.

A través de esta declaración, cedo los derechos de propiedad intelectual a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y normativa institucional vigente.

CRISTINA  
ELIZABETH  
ALMEIDA  
NARANJO

Firmado digitalmente  
por CRISTINA ELIZABETH  
ALMEIDA NARANJO  
Fecha: 2023.09.13  
14:11:55 -05'00'

---

Cristina Elizabeth Almeida Naranjo

C.I.: 1720231552

## DECLARACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.



-----  
Yolis Campos Ph.D.

## LOS PROFESORES INFORMANTES:

Pamela Merino

Alfonsina Rodríguez

Después de revisar el trabajo presentado lo han calificado como apto para su defensa oral ante el tribunal examinador.



firmado electrónicamente por  
PAMELA ALEXANDRA  
MERINO SALAZAR

---

Ph.D. Pamela Merino

---

Ph.D. Alfonsina Rodríguez

Quito, 13 septiembre del 2023

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.

CRISTINA  
ELIZABETH  
ALMEIDA NARANJO

Firmado digitalmente  
por CRISTINA ELIZABETH  
ALMEIDA NARANJO  
Fecha: 2023.09.13  
14:12:17 -0500

---

Cristina Elizabeth Almeida Naranjo

C.I.: 1720231552