



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE SALUD Y BIENESTAR

CARRERA DE MEDICINA

**“INFLUENCIA DE LOS MICROPLÁSTICOS EN LA
RESISTENCIA BACTERIANA”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE MÉDICO**

AUTOR: MELANY CRISTINA OLIVO AGUILAR

DIRECTOR: DR. JULIO CÉSAR OJEDA SÁNCHEZ

CUENCA - ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE SALUD Y BIENESTAR

CARRERA DE MEDICINA

**“INFLUENCIA DE LOS MICROPLÁSTICOS EN LA
RESISTENCIA BACTERIANA”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE MÉDICO**

AUTOR: MELANY CRISTINA OLIVO AGUILAR

DIRECTOR: DR. JULIO CÉSAR OJEDA SÁNCHEZ

CUENCA - ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

Melany Cristina Olivo Aguilar portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0706627734**. Declaro ser el autor de la obra: “**Influencia de los microplásticos en la resistencia bacteriana**”, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 25 de octubre de 2023

F: 

Melany Cristina Olivo Aguilar

C.I. 0706627734

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR / TUTOR

Certifico que el presente trabajo denominado **"Influencia de los microplásticos en la resistencia bacteriana"** realizado por **Melany Cristina Olivo Aguilar** con documento de identidad No. **0706627734**, previo a la obtención del título profesional de Médico, ha sido asesorado, supervisado y desarrollado bajo mi tutoría en todo su proceso, cumpliendo con la reglamentación pertinente que exige la Universidad Católica de Cuenca y los requisitos que determina la investigación científica.

Cuenca, 25 de Octubre de 2023



F:

Dr. Julio Cesar Ojeda Sanchez

DIRECTOR / TUTOR

DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios, por ser el ser que guía y acompaña en cada paso de mi carrera.

A mis amados padres, Yenny y Eduardo, por animarme inalcanzablemente con su amor, por estar a mi lado en cada logro y derrota. Ser mi guía y apoyo en cada meta que me proponga, por todos y cada uno de los consejos, gracias por convertirme en lo que soy ahora.

A mis tíos y abuelos, por ser un pilar fundamental. En especial a Daysi, Nieves y Milton por sus consejos y apoyo en cada momento esencial para cumplir cada meta.

A mis hermanos: Diego, Santiago, Patricio, por alegrar mi vida, ser mi ejemplo de superación. Por su cariño, cuidarme y estar presentes siempre.

A Kevin, quien con su compañía, comprensión y amor logro que fuese más llevadera cada etapa, gracias por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser la guía y fortaleza en cada etapa de mi carrera.

A mis padres, que gracias a su ejemplo, apoyo y dedicación incondicional me motivaron a seguir ante cada obstáculo.

A cada uno de los docentes y tutores, que me han enseñado y forjado los conocimientos que a lo largo de la carrera aplicare. En especial un inmenso agradecimiento al Dr. Julio Ojeda, director de mi tesis, por su tiempo, conocimiento y apoyo constante para realizar el estudio adecuadamente.

A mi familia y amigos, por su motivación y consejos a lo largo de esta carrera.

RESUMEN

Antecedentes: La resistencia bacteriana es una creciente amenaza para la salud global, ya que reduce la eficacia de los antibióticos y aumenta la dificultad en el tratamiento de infecciones comunes y graves. Siendo los ecosistemas terrestres como la principal fuente y vías de transporte de microplásticos y nanoplasticos, que aseguran el acceso a los microbios en la cadena alimentara.

Objetivo: Describir la influencia de los microplásticos en la resistencia bacteriana

Metodología: Se realizó un estudio cualitativo, no experimental, de tipo bibliográfico narrativo, a partir de la revisión de fuentes de las diferentes bases de datos científicas, tomando en consideración artículos de alto impacto. Publicados durante los últimos cinco años.

Resultados: Se incluyen en el análisis 9 estudios. Los resultados indicaron que los microplásticos pueden servir como portadores de bacterias resistentes a los antibióticos y patógenos. Los mecanismos de resistencia bacteriana son variados y se distinguen: enzimas hidrolíticas, modificación del sitio activo, disminución de la permeabilidad de la pared celular y bombas de eflujo.

Conclusiones: Los microplásticos influyen en la resistencia bacteriana a través de mecanismos diversos, como la transferencia de genes, la formación de biopelículas y la adsorción de antibióticos.

Palabras clave: microplásticos, antibacterianos, bacterias, ecosistema, infecciones

ABSTRACT

Background: Bacterial resistance is a growing threat to global health, reducing the efficacy of antibiotics and increasing the difficulty in treating common and severe infections. Terrestrial ecosystems serve as the primary source and transport pathways for microplastics and nanoplastics, ensuring microbial exposure in the food chain.

Objective: To describe the influence of microplastics on bacterial resistance.

Methodology: A qualitative, non-experimental, narrative bibliographic study was carried out, based on the review of sources from different scientific databases, considering high-impact articles published during the last five years.

Results: The analysis included nine studies. The results indicated that microplastics can serve as carriers of antibiotic-resistant bacteria and pathogens. Bacterial resistance mechanisms include hydrolytic enzymes, active site modification, decreased cell wall permeability, and efflux pumps.

Conclusions: Microplastics influence bacterial resistance through various mechanisms, including gene transfer, biofilm formation, and antibiotic adsorption.

Keywords: microplastics, antibacterials, bacteria, ecosystem, infections

ÍNDICE

CONTENIDO

RESUMEN	7
ABSTRACT	8
CAPÍTULO 1: MARCO INTRODUCTORIO.....	11
Introducción.....	11
Planteamiento del problema	11
Justificación	12
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	14
Microplásticos	14
Clasificación de los Microplásticos	15
Estructura de los Microplásticos.....	15
Contaminación por Microplásticos.....	16
Fuentes de Contaminación por Microplásticos	17
Resistencia Bacteriana.....	17
Mecanismos de Resistencia	18
Colonización Bacteriana en Microplásticos	19
Microplástico y Salud, Perspectiva Actual y Futura	19
CAPÍTULO 3: OBJETIVOS.....	21
Objetivos.....	21
Objetivo general:.....	21
Objetivos específicos:	21
CAPÍTULO 4: MARCO METODOLÓGICO	22
Diseño general del estudio.....	22
Criterios de selección.....	22
Criterios de inclusión	22
Criterios de exclusión	22
Estrategia de búsqueda	22
Proceso de recopilación y extracción de datos	22
CAPÍTULO 5: RESULTADOS	23
CAPÍTULO 6: DISCUSIÓN.....	27
capitulo 7: CONCLUSIONES	30

LIMITACIONES DE ESTE ESTUDIO.....	31
Bibliografía.....	32
ANEXOS.....	37
ANEXO NO.1 DIAGRAMA DE FLUJO	37

CAPÍTULO 1: MARCO INTRODUCTORIO

Introducción

El uso creciente de plásticos y su liberación inmediata e imprudente a nivel del medio ambiente son los pilares de la contaminación por este tipo de material (1,2), los mismos que como parte de su proceso de descomposición o desgaste, dan como resultado miles de millones de partículas conocidas como microplásticos (3), recalcando que estos se describen como micropartículas o piezas de plástico menor a 5 milímetros (4).

Los microplásticos se encuentran ampliamente en diversos ecosistemas acuáticos, desde estanques de acuicultura hasta aguas polares, y representan una contaminación global persistente y perjudicial. Estos pueden servir como portadores de microorganismos y contaminantes, convirtiéndose en una vía para la transferencia de genes de resistencia a los antibióticos desde los océanos hasta la acuicultura y, finalmente, hacia los seres humanos a través de la cadena alimentaria (3).

Estos microplásticos tienen la capacidad de absorber sustancias tóxicas en su superficie, como aditivos químicos, monómeros residuales, retardantes de flama, biocidas e hidrocarburos poli-aromáticos (5). Las consecuencias son daños significativos, tanto físicos como toxicológicos, en los organismos marinos y puede alterar la flora intestinal, afectar el sistema inmunológico y contribuir a la propagación de bacterias resistentes a los antibióticos (3). planteando una amenaza emergente para la salud pública y la seguridad alimentaria que pueden generar consecuencias perjudiciales para la salud humana (6).

Planteamiento del problema

Los microplásticos actúan como sustratos sólidos que promueven la proliferación y dispersión de patógenos en el entorno. Se ha observado la presencia de *Vibrio*, incluyendo especies potencialmente patógenas, asociadas con microplásticos en diferentes ubicaciones. Además, otros patógenos como *Escherichia coli*, *Pseudomonas* y *Arcobacter* muestran una preferencia por adherirse a microplásticos, incluso en áreas recreativas. Se ha documentado resistencia a antibióticos y presencia de genes de virulencia en bacterias asociadas a microplásticos, lo que subraya su rol como vectores de patógenos y genes de resistencia en el medioambiente con directa influencia en la salud humana (6).

De igual forma el uso generalizado y a menudo imprudente de medicamentos antimicrobianos o antibióticos en diversos sectores de la salud está provocando cada vez una resistencia mayor

por parte de estos microorganismos (7). Es decir, representan un nuevo nicho para microbios y tienen el potencial de actuar como portadores de genes de resistencia a los antibióticos y patógenos. La transferencia de plásmidos entre especies bacterianas en la biopelícula microplástica es mayor que en agregados naturales, lo que puede propagar la resistencia a los antibióticos y alterar las comunidades bacterianas acuáticas (8).

Como resultado, la abundancia de microplásticos en nuestro medio ambiente ha provocado una preocupación generalizada y ha actuado como un importante impulsor de la investigación asociada a la resistencia bacteriana (4). La resistencia a los antibióticos representa un desafío para el tratamiento de enfermedades y ha llevado al desarrollo de enzimas que degradan los antibióticos, lo que limita su efectividad. La propagación de resistencia a los antibióticos en patógenos ha afectado el tratamiento médico y ejerce presión en los sistemas de salud mundiales. La falta de medidas correctivas contra el enriquecimiento de resistencia a los antibióticos podría resultar en millones de muertes y costos económicos significativos anuales (9).

Por los motivos anteriormente expuestos, este estudio pretende dar respuesta a la siguiente interrogante de investigación: ¿Cuál es la influencia de los microplásticos en la resistencia bacteriana?

Justificación

La resistencia bacteriana es una creciente amenaza para la salud global, ya que reduce la eficacia de los antibióticos y aumenta la dificultad en el tratamiento de infecciones comunes y graves. Si los microplásticos, que son ubicuos en nuestro entorno, están contribuyendo al desarrollo y propagación de la resistencia bacteriana, esto podría tener graves implicaciones para la salud humana. Los microplásticos son una forma de contaminación ambiental que afecta a los ecosistemas acuáticos y terrestres. La liberación constante de microplásticos en el ambiente, a menudo proveniente de productos de consumo, desechos y actividades industriales, plantea la preocupación de que estos puedan actuar como vectores de transmisión de genes de resistencia bacteriana en el medio ambiente, exacerbando el problema de la resistencia antimicrobiana (7).

La investigación sobre la relación entre microplásticos y resistencia bacteriana puede proporcionar evidencia sólida para respaldar la necesidad de políticas y regulaciones más estrictas sobre el uso y desecho de plásticos (10,11). Esto puede llevar a cambios en la producción y gestión de plásticos a nivel global, reduciendo la cantidad de microplásticos

liberados al medio ambiente (12). Entender cómo los microplásticos pueden facilitar la resistencia bacteriana es un área relativamente nueva de investigación. Contribuir a esta área de conocimiento es esencial para comprender completamente la dinámica de la resistencia antimicrobiana y cómo abordarla de manera efectiva (13).

Los microplásticos y los genes de resistencia a los antibióticos se han convertido en focos de atención y de investigación a nivel mundial debido a sus efectos potenciales, por lo cual es una amenaza emergente para la salud humana y la asistencia sanitaria, además de ser un desafío para la comunidad de investigación para una gestión de esta amenaza.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

Microplásticos

Los microplásticos (MP) son nuevos contaminantes ambientales preocupantes compuestos de partículas plásticas químicamente estables con un diámetro de menos de 5 mm (6). Estos diminutos fragmentos de plástico pueden tener origen tanto en la degradación de objetos más grandes, como botellas y bolsas, como en productos de cuidado personal, como exfoliantes y pastas dentales, que contienen microperlas de plástico (14). Los microplásticos también pueden ser resultado de la descomposición de materiales sintéticos en la naturaleza. Estas partículas son insidiosas porque son tan pequeñas que pueden ser ingeridas por organismos marinos y terrestres, entrando en la cadena alimentaria y presentando riesgos potenciales para la salud humana y el ecosistema en su conjunto (8).

Los MP pueden clasificarse en dos categorías principales: los microplásticos primarios y los secundarios. Los primeros son diseñados intencionalmente, como las microperlas en productos de cuidado personal, mientras que los segundos se forman a partir de la degradación de plásticos más grandes (15). También se pueden clasificar en base a sus propiedades físico-químicas como microfibras de tela (vellón, pañales, colillas de cigarrillos), fragmentos (partículas más grandes de cubiertos y tapas), gránulos de plástico, espumas (tazas, platos, recipientes de envasado de alimentos), microperlas (plásticos con un diámetro inferior a 1 mm, empleados en productos de cuidado personal, limpiadores faciales, jabones exfoliantes y pastas dentales) y nanoplásticos (partículas plásticas con un diámetro de 1 a 100 nanómetros) que pueden surgir de la descomposición de los microplásticos (16,17). Su persistencia en el medio ambiente es una de las características más preocupantes, ya que pueden permanecer en los ecosistemas durante décadas o incluso siglos (18).

Los MP plantean una amenaza significativa para la biodiversidad y la salud humana, ya que pueden acumular contaminantes químicos en su superficie y ser ingeridos por organismos acuáticos y terrestres. A medida que estos organismos son consumidos por otros en la cadena alimentaria, los microplásticos y los contaminantes asociados pueden biomagnificarse, lo que potencialmente conduce a una exposición más alta de humanos a sustancias tóxicas (19). La gestión adecuada de los plásticos, la reducción de su producción y el desarrollo de alternativas sostenibles son cruciales para abordar el problema de los microplásticos y evitar el desarrollo de la creciente amenaza a la salud pública mundial (20).

Los humanos están expuestos a los MP principalmente a través de la ingestión de alimentos, y estudios recientes han encontrado MP en heces humanas, sangre y placenta, lo que sugiere que

son ingeridos y pueden ingresar al cuerpo humano con facilidad (21). A pesar de que se ha investigado ampliamente el impacto de los MP en organismos, como la neurotoxicidad y el estrés oxidativo, su relación con enfermedades metabólicas crónicas, especialmente en el sistema endocrino, sigue siendo poco claro debido a la limitada investigación en este campo (17).

Clasificación de los Microplásticos

Se clasifican en primarios y secundarios (17).

- **Primarios.** Son microplásticos fabricados originalmente con un tamaño inferior a 5 mm. Se hallan principalmente en textiles, medicamentos y productos de aseo personal como exfoliantes faciales y corporales. Pueden ser trasladados por ríos, descargas de plantas de tratamiento de aguas y viento hacia ambientes de agua dulce y de mar (17).
- **Secundarios.** Son microplásticos derivados de la fragmentación o de desechos plásticos de grandes dimensiones debido a procesos de foto degradación o de las interacciones físicas, químicas y biológicas. Se originan en redes de pesca, gránulos de resina industrial, artículos para el hogar y otros desechos plásticos (17).

Estructura de los Microplásticos

Los microplásticos son termoplásticos, a altas temperaturas se presentan en forma líquida y proceden en su mayoría de los siguientes plásticos (20):

Polietileno (PE): Compuesto por etilenos en forma de gránulos o polvo blanco. Muy usados para cubrir otros materiales y para embalajes de alimentos y bebidas. Son flexibles, resistentes a bajas temperaturas, son impermeables e irrompibles. Se distinguen en dos tipos: los de baja densidad (HDPE) utilizados en bolsas flexibles, embalajes industriales, techos, etc. y los de alta densidad (LDPE) usados para fabricación de bolsas, cajas de botellas, redes de pesca, tuberías, lonas de hamacas (20).

Polipropileno (PP): Está formado por polimerización del propileno, es muy utilizado en piezas de automóviles y electrodomésticos, jeringas desechables, moquetas, cintas para embalaje, etc., por ser resistentes a la temperatura (20).

Poliestireno (PS): Es utilizado en envases, vasos, platos y cubiertos desechables, neveras portátiles, aislantes térmicos y acústicos, etc. Se moldea y destruyen con facilidad y se funde a altas temperaturas (20).

Poliamida (PA): Es un tipo de plástico muy resistente a altísimas temperaturas y es fácil de moldear. Se utilizan para la fabricación de piezas de grandes rozamientos, choques, frotamiento, como los rodillos, cintas transportadoras o engranajes, etc. Dentro de este tipo de plástico se encuentra el nylon (20).

Contaminación por Microplásticos

La contaminación por microplásticos representa un desafío ambiental significativo que afecta a los ecosistemas marinos y terrestres en todo el mundo. Estas minúsculas partículas de plástico han infiltrado prácticamente todos los rincones del planeta, desde los océanos hasta las cadenas alimentarias terrestres (3). Además, los microplásticos funcionan como esponjas químicas, absorbiendo contaminantes tóxicos del agua circundante y concentrándolos en niveles peligrosos a medida que avanzan en la cadena alimentaria, lo que puede tener efectos perjudiciales en la salud de las especies y, en última instancia, en la salud humana a través del consumo de productos marinos contaminados (21).

A medida que estos diminutos fragmentos de plástico ingresan a la cadena alimentaria, pueden llegar a la mesa de las personas a través de productos marinos y alimentos cultivados en suelos contaminados. La exposición crónica a estos microplásticos y las sustancias químicas que transportan plantea preocupaciones de salud, como la posible transferencia de productos químicos tóxicos y disruptores endocrinos a través de la ingesta de alimentos. Esto podría tener consecuencias negativas para la salud humana, como problemas hormonales, cáncer y trastornos del sistema inmunológico (21).

Finalmente, la contaminación por microplásticos también está intrínsecamente relacionada con la necesidad de abordar el problema más amplio de los plásticos. Dado que la mayoría de los microplásticos se originan en la degradación de plásticos más grandes, este fenómeno subraya la urgencia de reducir la producción y el consumo de plástico en general. Los microplásticos, que en la actualidad se encuentran ampliamente dispersos en los océanos, constituyen una amenaza seria para el equilibrio ecológico marino y han suscitado con razón un gran interés en la comunidad científica que se dedica a la investigación biológica y ecológica. Sin embargo, su origen, destino y proceso de fragmentación, así como su tendencia a absorber y liberar contaminantes orgánicos persistentes, dependen de las características de los polímeros que los conforman (22).

Fuentes de Contaminación por Microplásticos

Las fuentes de contaminación por microplásticos son diversas y abarcan una amplia gama de actividades humanas y procesos naturales. Una de las principales fuentes es la degradación de plásticos más grandes, como botellas, envases y redes de pesca, que con el tiempo se fragmentan en microplásticos debido a la exposición a la luz solar y las condiciones ambientales (23). Estos fragmentos de plástico pueden ingresar a los océanos y cuerpos de agua a través de la escorrentía urbana y la erosión de playas y costas (3).

Además, los productos de cuidado personal, como exfoliantes faciales, cremas y pastas dentales, que contienen microperlas de plástico, representan una fuente significativa de microplásticos. Estas partículas diminutas son liberadas al desaguar estos productos y eventualmente llegan a los sistemas de aguas residuales y, en última instancia, a los cuerpos de agua (24). Otra fuente relevante de microplásticos proviene de la abrasión de neumáticos de automóviles en las carreteras, lo que genera pequeñas partículas de caucho que se dispersan en el ambiente y pueden ser arrastradas por la lluvia hacia ríos y océanos (25).

Limitar la contaminación por microplásticos implica la implementación de medidas más amplias, como la promoción de envases sostenibles, la adopción de prácticas de reciclaje más efectivas y la regulación de productos de consumo que contienen microplásticos (26). En última instancia, la lucha contra la contaminación por microplásticos es un llamado a la acción para repensar el enfoque hacia los plásticos y avanzar hacia soluciones más sostenibles y responsables para proteger el planeta y la salud de las personas (20).

Resistencia Bacteriana

Las bacterias son microorganismos que manifiestan tener una gran capacidad de adaptación al medio en el que habitan y a las diferentes condiciones ambientales en las que se hayan, incluyendo la presencia de sustancias tóxicas del entorno, siendo los antibióticos una de esas sustancias. Muchas bacterias han desarrollado mecanismos de adaptación, conocidos actualmente como resistencia, lo que lleva a reconocerlas como bacterias resistentes a antibióticos (ARB). La aparición de bacterias resistentes a múltiples fármacos en el medio ambiente ha sido durante mucho tiempo un problema progresivo de salud pública (27).

Uno de los aspectos más preocupantes de la resistencia bacteriana es la propagación de genes de resistencia a través de la transferencia horizontal de material genético entre bacterias. Esto permite que las bacterias adquieran rápidamente nuevas capacidades de resistencia, lo que

complica aún más el tratamiento de infecciones (28). Además, la falta de desarrollo de nuevos antibióticos efectivos en las últimas décadas ha agravado el problema, ya que las bacterias continúan evolucionando y adaptándose a los tratamientos existentes (29).

En la práctica clínica, la resistencia bacteriana sigue siendo un reto persistente debido al aumento del uso de antibióticos más tóxicos para el paciente y costosos. Esto no solo aumenta la carga económica de la atención médica, sino que también pone en peligro la vida de los pacientes (29). Para abordar este desafío, es esencial un uso más prudente de los antibióticos, la promoción de medidas de prevención de infecciones y la investigación continua para desarrollar nuevos enfoques terapéuticos y estrategias de control de la resistencia bacteriana. La resistencia bacteriana es un tema crítico que requiere la colaboración de la comunidad científica, médica y gubernamental a nivel mundial para evitar consecuencias devastadoras para la salud pública (30).

La resistencia bacteriana no se limita únicamente a los antibióticos, sino que también afecta a otros agentes antimicrobianos utilizados en medicina, como los antivirales y los antifúngicos (31). La proliferación de la resistencia a estos medicamentos también ha generado preocupación, ya que reduce las opciones terapéuticas disponibles para tratar infecciones virales y fúngicas, lo que puede tener graves implicaciones para pacientes con enfermedades como el VIH, la hepatitis y las infecciones por hongos (32).

Mecanismos de Resistencia

Se distinguen cuatro mecanismos principales (27):

1. Alteraciones en el lugar de acción. Se refiere a la modificación del lugar de unión del antibiótico, tanto por medio de la alteración de sus precursores, de forma directa sobre la enzima diana como protegiendo los sitios diana (27).
2. Disminución de la permeabilidad. Las porinas son la principal vía de entrada de los antibióticos hidrofílicos. Las mutaciones que producen la pérdida, modificación o reducción de la expresión de porinas; determinan mayor resistencia a los antibióticos que necesitan entrar en el interior celular para inutilizar la bacteria (27).
3. Bomba de expulsión. Son sistemas complejos dependientes de energía (ATP o fuerza protón motriz) presentes en la membrana citoplasmática bacteriana. Estos sistemas normalmente son utilizados para bombear fuera de la célula moléculas tóxicas

procedentes del metabolismo celular. Algunas bacterias, sin embargo, pueden emplearlos para expulsar al antibiótico (27).

4. Inactivación o modificación enzimática. Consiste en la adición, por parte de enzimas bacterianas, de grupos fosfato, acetilo o adenilo en sitios específicos del antibiótico; modificándolo químicamente e inactivándolo, evitando así que se una a su diana (27).

Colonización Bacteriana en Microplásticos

La colonización bacteriana en microplásticos es un fenómeno intrigante y relevante desde el punto de vista científico y ambiental. Cuando los microplásticos entran en contacto con ambientes acuáticos, como océanos y ríos, rápidamente desarrollan una biopelícula microbiana en su superficie (15). Esta biopelícula está compuesta por una comunidad diversa de microorganismos, incluyendo bacterias, algas y otros microbios. Estos microorganismos se adhieren al microplástico y forman una capa que puede modificar las propiedades físicas y químicas de la partícula, lo que tiene implicaciones tanto para el destino de los microplásticos como para los ecosistemas acuáticos en general (33).

La colonización bacteriana en microplásticos puede tener varias consecuencias, en primer lugar, puede acelerar la degradación física y química de los microplásticos, lo que potencialmente aumenta su toxicidad al liberar sustancias químicas dañinas. Además, esta biopelícula puede actuar como un vector de dispersión para microorganismos patógenos, lo que podría aumentar el riesgo de contaminación biológica en los ecosistemas acuáticos (34). Por otro lado, la colonización bacteriana en microplásticos también podría afectar la disponibilidad de nutrientes y la transferencia de materia orgánica en los océanos, lo que podría tener efectos en cascada en la cadena alimentaria marina (35).

Comprender la colonización bacteriana en microplásticos es fundamental para evaluar el impacto de estos materiales en los ecosistemas acuáticos y la salud humana. La investigación en este campo está en constante evolución y arroja luz sobre los complejos procesos que ocurren en la interfaz entre los microplásticos y los microorganismos (36). Esta comprensión es esencial para desarrollar estrategias efectivas de mitigación y gestión de la contaminación por microplásticos y para preservar la salud de nuestros océanos y la biodiversidad marina (35).

Microplástico y Salud, Perspectiva Actual y Futura

La influencia de microplásticos en la salud humana requiere una mayor comprensión y constituye motivo de preocupación para los expertos según ha sido señalado por la

Organización Panamericana de la Salud (OPS). El impacto de los microplásticos en la salud humana aún no está completamente comprendido, aun cuando existe preocupación por posibles efectos en la salud en problemas respiratorios, endocrinos y cardiovasculares, existiendo evidencias que confirman la alta presencia de microplásticos en la cadena alimenticia, así como en el agua dulce y el agua potable (37).

La OPS ha ubicado a los microplásticos entre los determinantes de la salud por la amenaza que representan, por lo cual se deben impulsar estudios de impactos a la salud humana y ambiental y su relación con otros contaminantes, así como aplicar lo establecido sobre la gestión adecuada de residuos plásticos del sector salud. Entre las perspectivas actuales y futuras se plantea la implementación de estrategias para mejorar la prescripción de antibióticos y reducir la automedicación, teniendo en cuenta que el consumo irracional de medicamentos tiene consecuencias muy perjudiciales para los pacientes y los sistemas de salud (37).

La OMS clasifica la prescripción irracional como una enfermedad crónica progresiva de cualquier sistema de salud y, como ocurre con cualquier otra enfermedad crónica, el tratamiento es desafiante y la cura difícil de alcanzar, pero la prevención es posible, las estrategias para combatir la prescripción irracional incluyen intervenciones educativas, gerenciales, regulatorias y económicas (37).

Un gran desafío para las investigaciones futuras reside en que los plásticos cada vez ocupan mayor espacio en las masas de agua, tanto de microplásticos como de nanoplásticos y aún no existe un método preciso para su eliminación, por lo que permanecen en el agua aumentando cada vez más su volumen, con el desafío de casi la totalidad de las masas de agua del planeta contienen plástico en alguna de sus fases de degradación, lo cual confirma su gran capacidad de dispersión y peligro potencial para la salud (35).

CAPÍTULO 3: OBJETIVOS

Objetivos

Objetivo general:

Describir la influencia de los microplásticos en la resistencia bacteriana

Objetivos específicos:

1. Detallar los mecanismos de crecimiento bacteriano en los microplásticos
2. Caracterizar los procesos microbiológicos de la resistencia bacteriana influenciada por microplásticos.

CAPÍTULO 4: MARCO METODOLÓGICO

Diseño general del estudio

No experimental, cualitativo, revisión bibliográfica.

Criterios de selección

Criterios de inclusión

- a) Artículos publicados en los últimos 5 años
- b) Artículos en inglés y español
- c) Artículos con calidad científica: Q1, Q2, Q3, Q4, Latindex 2.0.

Criterios de exclusión

- a) Artículos de acceso restringido
- b) Literatura gris.
- c) Artículos de veterinaria, enfermería.

Estrategia de búsqueda

Revisión de bases de datos como PubMed, Scopus, Web ofScience, consideradas de alto impacto científico que contengan publicaciones de los últimos 5 años en inglés y español, tomando de referencia palabras clave como: “microplásticos”, “resistencia”, “patógenos microbianos”, “microorganismos”, “fragmentos de plásticos”, “microesferas”.

Proceso de recopilación y extracción de datos

Los artículos encontrados se filtraron en base a los criterios de elegibilidad, se generó una base de datos en Excel donde se fue eliminando aquellos que no cumplían los requisitos. No se excluyeron artículos por su metodología, ni en tipo de población estudiada. Una vez seleccionados los artículos se creó una base de datos en el gestor Zotero para recopilar los documentos digitales. La extracción de datos se realizó en tablas donde se ubicó la información más relevante de los artículos por años de publicación y por objetivos.

CAPÍTULO 5: RESULTADOS

Objetivo 1. detallar los mecanismos de crecimiento bacteriano en los microplásticos

Autor/ Año	Diseño	Muestra	Resultados
Blum et.al.(39) 2019	W, Revisión	-	<p>En muchas zonas rurales se observa una pérdida de biodiversidad del suelo. El uso cada vez mayor de agroquímicos, la baja biodiversidad vegetal y las prácticas rigurosas de manejo del suelo tienen un efecto negativo en la biodiversidad de los cultivos epífitos y endófitos.</p> <p>Estos avances coinciden con un aumento de las enfermedades. El suelo contribuye al microbioma intestinal humano; fue esencial en la evolución del microbioma intestinal humano y es un importante inoculante y proveedor de microorganismos intestinales beneficiosos</p>
Bartley et.al. (40) 2019	P, Estudio observacional	Llago urbano y sistema fluvial rural en noreste de Brasil y lago y sistema alcantarillado en Ohio	<p>Concentraciones de bacterias fecales humanas en el lago urbano brasileño y en las aguas residuales del noreste de Ohio altas. Las muestras de agua filtrada del lago urbano brasileño mostraron la presencia de blaOXA-48, blaKPC, blaVIM-2, qnrS y aac(69)-lb-cr, mientras que solo se identificó blaVIM-2 en las aguas residuales sin tratar del noreste de Ohio. Del lago urbano brasileño, el 85% de las enterobacterias (n = 40) cultivados eran resistentes de al menos un antibiótico de importancia clínica, incluido el ST131 <i>Escherichia coli</i> que aloja la beta-lactamasa de espectro extendido CTX-M. Dos aislados demostraron resistencia a la polimixina aunque no se detectó mcr-1/2. Los hallazgos indicaron que las aguas superficiales en un sitio urbano brasileño pueden servir como un reservorio ambiental de RAM y que mejorar el tratamiento de aguas residuales y el saneamiento en general puede mejorar la diseminación de RAM.</p>
Abe K,et.al. (41) 2020	Revisión sistemática	23 estudios	<p>Intercambio frecuente ARG en biopeículas. ARG codificados en elementos genéticos móviles (MGEs) como plásmidos conjugativos y no conjugativos, transposones y bacteriófagos. HGT está impulsada por tres mecanismos principales: conjugación, transformación natural e infección por bacteriófagos.</p> <p>VM abundantes reservorios de ADN en ambientes acuáticos tienen el potencial de transferir genes entre bacterias</p>

Amoboyne A, et.al.(42) 2021	Revisión sistemática	30 artículos	<p>Reactividades biológicas de partículas plásticas disminuyen al hacerlo el tamaño de las partículas y áreas de superficie y junto con los aditivos que los complementan son transportados en cadenas alimenticias Luo, et.al., (43).</p> <p>Los efectos tóxicos de las MNP en el entorno celular pueden resultar del estrés oxidativo inducido, lo que conduce a una cascada de actividades celulares indeseables y daño eventual (44).</p> <p>Los MNP pueden acumularse en células y tejidos provocando trastornos metabólicos e inflamación local(45).</p> <p>La absorción y efectos citotóxicos de los MNP se ha evidenciado en líneas celulares humanas pulmonares (46), intestinales (47), cerebrales y epiteliales.</p> <p>Conclusion: se ha identificado a los ecosistemas terrestres como las principales fuentes y vías de transporte de MNP hacia los ambientes acuáticos y la atmósfera. La mayor acumulación de MNP en estos entornos fortalecida por sus distintas características han asegurado que obtengan acceso a los microbios y otros organismos en el extremo inferior de la cadena alimentaria</p>
Tuvo, B, et.al. (48) 2023	Revisión	16 estudios	<p>Las aguas residuales hospitalarias se consideraron puntos críticos de resistencia a los antibióticos, comparadas con las aguas residuales urbanas, pues las misma contienen variedad de sustancias tóxicas o persistentes, como productos farmacéuticos, radionucleidos, desinfectantes con fines médicos en una amplia gama de concentraciones y, en particular, microorganismos patógenos que contienen ARG. Aunque todavía es insuficiente la información en la literatura centrada en la presencia de MP en aguas residuales hospitalarias, el papel de estos efluentes en la difusión de ARG está bien documentado.</p>

Objetivo 2. caracterizar los procesos microbiológicos de la resistencia bacteriana influenciada por microplásticos.

Autor/ Año	Diseño	Muestra	Resultados
---------------	--------	---------	------------

An et.al.(46) 2018	X, Estudio observacion al		<p>Los genes de resistencia a aminoglucósidos, betalactámicos y trimetoprim fueron altamente prevalentes en los casetes de genes de integrones de clase 1, mientras que los integrones de clase 3 portaban principalmente casetes de genes de resistencia a betalactámicos. Un grupo central de casetes de genes de resistencia a integrones de clase 1 persistió durante el tratamiento de aguas residuales, lo que implica que estos genes de resistencia podrían tener un alto potencial para propagarse a los ambientes a través de las EDAR</p>
Dhingra et.al. (38) 2019	S, Revisión Narrativa	No definida	<p>Los principales mecanismos de resistencia antimicrobiana son: restringir la absorción de un antimicrobiano; alteración de una diana antimicrobiana; degradación de un antimicrobiano; y salida activa de un antimicrobiano. Estos mecanismos pueden aparecer como innatos del microorganismo o transferidos de otros microorganismos. Los microbios emplean dos planes genéticos principales para mitigar la línea de ataque antimicrobiana. Se trata de mutaciones en genes frecuentemente correlacionados con el modo de acción del compuesto antimicrobiano, o de la obtención de ADN extraño que codifica factores de resistencia mediante la transferencia horizontal de genes (THG). La HGT permite que múltiples microorganismos patógenos no relacionados actúen como agentes de una epidemia transfiriendo resistencia a los medicamentos conferida por un gen de resistencia a los antimicrobianos (ARG)</p>
Avershina E, et.al (49) 2021	Revisiónn sistemática	Más de 150 artículos	<p>Los patógenos utilizan diversos mecanismos para resistir el tratamiento con antibióticos. Pueden modificar las proteínas de la pared celular, producir enzimas para la alteración de los fármacos, reducir la entrada celular mediante la pérdida de porinas o inducir la eliminación del fármaco de la célula activando bombas de flujo. Además del diseño de nuevos antibióticos, otra estrategia para prevenir la resistencia es desarrollar antibióticos que inhiban este proceso (50).</p> <p>Los inhibidores de la bomba de eflujo impiden la eliminación del antibiótico del citoplasma. Tienen dos modos de acción, mediante la disipación de energía o bloqueando las bombas de eflujo mediante unión directa.</p>

Pham D, et.al (51) 2021	Estudio observacion a	Unidades de lodos activados en las plantas de tratamiento de aguas residuales	Los microplásticos son portadores de bacterias resistentes a los antibióticos (BRA) y patógenos. Los microplásticos de polietileno (PE) y poliestireno (PS) pueden aclimatar biopelículas enriquecidas con genes de resistencia a las sulfonamidas (sul1 y sul2) y el elemento genético móvil asociado (intI1) en comparación con arenas finas como partículas de control. Aumentó cantidad de genes. cuando se añadió inicialmente sulfametoxazol como sulfonamida representativa. Los microplásticos promovían selectivamente taxones patógenos y resistentes a los antibióticos (por ejemplo, Raoultella ornithinolytica y Stenotrophomonas maltophilia) con índices de enriquecimiento que oscilaban entre 1,6 y 3,3.
-------------------------------	-----------------------------	---	---

CAPÍTULO 6: DISCUSIÓN

Los microplásticos pueden servir como portadores de bacterias resistentes a los antibióticos (BRA) y patógenos, lo cual constituye una preocupación apremiante para la biota acuática y la salud humana de ahí el empeño de realizar estudios e investigaciones que den respuesta a este problema de salud no resuelto aún (52).

Los principales mecanismos de resistencia antimicrobiana identificados por Dhungra et al.(38), son: la restricción de la absorción de un antimicrobiano; alteración de una diana antimicrobiana; degradación de un antimicrobiano; y salida activa de un antimicrobiano. Estos mecanismos pueden aparecer como innatos del microorganismo o transferidos de otros microorganismos.

Los resultados obtenidos por Blum et al. (39), indicaron que el uso cada vez mayor de agroquímicos, la baja biodiversidad vegetal y las prácticas rigurosas de manejo del suelo tienen un efecto negativo en la biodiversidad de los cultivos epífitos y endófitos, así como que el suelo contribuye al microbioma intestinal humano.

Este resultado también se corrobora en el estudio de Amoboyne et al. (42), en el cual se señala que se ha identificado a los ecosistemas terrestres como las principales fuentes y vías de transporte de MNP hacia los ambientes acuáticos y la atmósfera, así como que la mayor acumulación de MNP en estos entornos fortalecida por sus distintas características han asegurado que se obtenga acceso a los microbios y otros organismos en el extremo inferior de la cadena alimentaria.

Similar resultado se obtuvo por Corradini et al.(53), un estudio que constató la presencia de microplásticos a escala regional en suelos con diferentes usos: cultivo, pastos, pastizales y pastizales naturales. Se encontró contaminación por microplásticos en tierras de cultivo y pastos. No obstante, en este estudio no se pudo identificar la fuente de contaminación, por lo que se necesitan más estudios que aporten información sobre los microplásticos en los suelos.

Un estudio realizado por Cox et al.(52), evaluó la cantidad de partículas microplásticas en los alimentos de consumo habitual así como exploró el potencial de la inhalación de microplásticos y cómo la fuente de agua potable puede afectar el consumo de microplásticos. Se evaluó alrededor del 15% de la ingesta calórica de los estadounidenses, estimándose que el consumo anual de microplásticos oscilaba entre 39.000 y 52.000 partículas según la edad y el sexo. Estas estimaciones aumentaron a 74.000 y 121.000 al tener en cuenta la inhalación. Además, por el consumo de agua recomendado solo a través de fuentes embotelladas se podían estar ingiriendo

90.000 microplásticos adicionales al año, al comparar con los 4.000 microplásticos de las personas que solo consumían agua del grifo.

Otros estudios realizados en medios acuáticos han detectado que las aguas superficiales pueden servir como un reservorio ambiental de RAM y que mejorar el tratamiento de aguas residuales y el saneamiento en general puede mejorar la diseminación de RAM. Este estudio confirmó el 85% de las enterobacterias cultivados eran resistentes de al menos un antibiótico de importancia clínica, incluido el ST131 *Escherichia coli* que aloja la beta-lactamasa de espectro extendido CTX-M y dos aislados demostraron resistencia a la polimixina (40)

Similar resultado se muestra en el estudio de Tuvo B, et.al. (48) en el cual se evidenció que las aguas residuales hospitalarias son puntos críticos de resistencia a los antibióticos, comparadas con las aguas residuales urbanas, por contener variedad de sustancias tóxicas o persistentes, como productos farmacéuticos, radionucleidos, desinfectantes con fines médicos en una amplia gama de concentraciones y, en particular, microorganismos patógenos que contienen ARG.

Se señala por Chi-Shuo et al.(54), que el impacto ambiental de nanoplásticos que se liberan en entornos acuáticos es creciente, a partir de la eliminación diaria de desechos, sin embargo existen pocos estudios que investiguen este impacto.

Los mecanismos de resistencia bacteriana son variados se distinguen entre ellos: enzimas hidrolíticas, modificación del sitio activo, disminución de la permeabilidad de la pared celular al ingreso del microbiano y bombas de eflujo. En un estudio realizado por An et. al.(46), se observó que los genes de resistencia a aminoglucósidos, betalactámicos y trimetoprim fueron altamente prevalentes en los casetes de genes de integrones de clase 1, mientras que los integrones de clase 3 portaban principalmente casetes de genes de resistencia a betalactámicos. Un grupo central de casetes de genes de resistencia a integrones de clase 1 persistió durante el tratamiento de aguas residuales, lo que implica que esos genes de resistencia podrían tener un alto potencial para propagarse a otros ambientes.

Estos resultados se documentan por Avershina et. al.(49), precisando que los patógenos utilizan diversos mecanismos para resistir el tratamiento con antibióticos, señalando que además del diseño de nuevos antibióticos, otra estrategia para prevenir la resistencia es desarrollar antibióticos que inhiban este proceso.

En estudio de Pham et al.(51), se confirma que los microplásticos son portadores de bacterias resistentes a los antibióticos (BRA) y patógenos. Los microplásticos de polietileno (PE) y

poliestireno (PS) pueden aclimatar biopelículas enriquecidas con genes de resistencia a las sulfonamidas (sul1 y sul2) y el elemento genético móvil asociado (intI1) en comparación con arenas finas. Los microplásticos promovían selectivamente taxones patógenos y resistentes a los antibióticos como, *Raoultella ornithinolytica* y *Stenotrophomonas maltophilia*.

CAPITULO 7: CONCLUSIONES

Los microplásticos pueden servir como portadores de bacterias resistentes a los antibióticos (BRA) y patógenos, por lo que conocer los mecanismos de resistencia permite investigar nuevas vías para bloquear estos mecanismos, y así permitir la acción antimicrobiana deseada.

Los mecanismos de resistencia bacteriana son variados se distinguen entre ellos: enzimas hidrolíticas, modificación del sitio activo, disminución de la permeabilidad de la pared celular al ingreso del microbiano y bombas de eflujo.

La propagación de la resistencia a los antibióticos a través de los microplásticos puede tener profundas consecuencias para la evolución de las bacterias y plantea un peligro al que hay que prestar atención en aras de preservar la salud humana.

Los antibióticos han sido un método de tratamiento exitoso para prevenir y tratar infecciones microbianas y tienen un papel fundamental para la salud de las personas se han utilizado actualmente en la clínica y se dirigen a diversas partes de la bacteria para eliminar o prevenir el crecimiento bacteriano, no obstante las bacterias desarrollarán continuamente resistencia a estos antibióticos mediante métodos internos diferentes como mutaciones y métodos externos como el intercambio de bacterias resistentes.

Los ecosistemas terrestres son fuentes de transporte de los microplásticos hacia ambientes acuáticos y atmosféricos que han influido en el acceso a los microbios y otros organismos en la cadena alimentaria, fundamentalmente en la biota marina, provocando diferentes efectos tóxicos por lo que es necesario implementar métodos científicos apropiados con mayor eficiencia para evaluar los posibles riesgos ambientales y efectos toxicológicos de los microplásticos.

Para obtener un mayor conocimiento sobre este tema es necesario realizar más estudios e investigaciones que aporten datos de seguimiento de la influencia de los microplásticos en la Resistencia Bacteriana.

LIMITACIONES DE ESTE ESTUDIO

Este estudio como toda revisión narrativa tiene un sesgo subjetivo que se ha tratado de minimizar con la inclusión de la mayor cantidad de estudios de diferentes países, lo cual fortalece el análisis del tema que se ofrece, así como se presentan las perspectivas actuales para enfrentar el impacto antropogénico que traen consigo los microplásticos, los cuales pueden servir como portadores de bacterias resistentes a los antibióticos (BRA) y patógenos, lo cual constituye una preocupación apremiante para la biota acuática y la salud humana. Las búsquedas bibliográficas presentan un acceso algo limitado a fuentes de referencia.

BIBLIOGRAFÍA

1. Shi J, Wang B, Li X, Su Y, Wu D, Xie B. Distinguishing removal and regrowth potential of antibiotic resistance genes and antibiotic resistant bacteria on microplastics and in leachate after chlorination or Fenton oxidation. *Journal of Hazardous Materials*. 2022;430:128432.
2. Zheng Z, Huang Y, Liu L, Wang L, Tang J. Interaction between microplastic biofilm formation and antibiotics: Effect of microplastic biofilm and its driving mechanisms on antibiotic resistance gene. *J Hazard Mater*. 2023;459:132099.
3. Dong H, Chen Y, Wang J, Zhang Y, Zhang P, Li X, et al. Interactions of microplastics and antibiotic resistance genes and their effects on the aquaculture environments. *J Hazard Mater*. 2021;403:123961.
4. Tuvo B, Scarpaci M, Bracaloni S, Esposito E, Costa AL, Ioppolo M, et al. Microplastics and Antibiotic Resistance: The Magnitude of the Problem and the Emerging Role of Hospital Wastewater. *Int J Environ Res Public Health*. 2023;20(10):5868.
5. Castañeta G, Gutiérrez Escalera AF, Nacaratte F, Manzano C. Microplastics: A contaminant that grows in all environmental areas, its characteristics and possible risks to public health from exposure. 2020;37:160-75.
6. Kaur K, Reddy S, Barathe P, Oak U, Shriram V, Kharat SS, et al. Microplastic-associated pathogens and antimicrobial resistance in environment. *Chemosphere*. 2022;291(Pt 2):133005.
7. Liu Y, Liu W, Yang X, Wang J, Lin H, Yang Y. Microplastics are a hotspot for antibiotic resistance genes: Progress and perspective. *Sci Total Environ*. 2021;773:145643.
8. Perveen S, Pablos C, Reynolds K, Stanley S, Marugán J. Microplastics in fresh- and wastewater are potential contributors to antibiotic resistance - A minireview. *Journal of Hazardous Materials Advances*. 2022; 6: 100071.
9. Junaid M, Liu X, Wu Y, Wang J. Selective enrichment of antibiotic resistome and bacterial pathogens by aquatic microplastics. *Journal of Hazardous Materials Advances*. 2022;7:100106.
10. Feng Y, Sun JW, Shi WW, Duan JL, Sun XD, Feng LJ, et al. Microplastics exhibit accumulation and horizontal transfer of antibiotic resistance genes. *Journal of Environmental Management*. 2023;336:117632.
11. Huang D, Zhang Y, Long J, Yang X, Bao L, Yang Z, et al. Polystyrene microplastic exposure induces insulin resistance in mice via dysbacteriosis and pro-inflammation. *Sci Total Environ*. 2022;838(Pt 1):155937.
12. Shi J, Wu D, Su Y, Xie B. Selective enrichment of antibiotic resistance genes and pathogens on polystyrene microplastics in landfill leachate. *Science of The Total Environment*. 2021;765:142775.

13. Zhang S, Liu X, Qiu P, Chen B, Xu C, Dong W, et al. Microplastics can selectively enrich intracellular and extracellular antibiotic resistant genes and shape different microbial communities in aquatic systems. *Sci Total Environ.* 2022;822:153488.
14. Tirkey A, Upadhyay LSB. Microplastics: An overview on separation, identification and characterization of microplastics. *Mar Pollut Bull.* s 2021;170:112604.
15. Li J, Liu H, Paul Chen J. Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water Research.* 2018;137:362-74.
16. Kannan K, Vimalkumar K. A Review of Human Exposure to Microplastics and Insights Into Microplastics as Obesogens. *Front Endocrinol (Lausanne).* 2021;12:724989.
17. Hartmann NB, Hüffer T, Thompson RC, Hassellöv M, Verschoor A, Daugaard AE, et al. Are We Speaking the Same Language? Recommendations for a Definition and Categorization Framework for Plastic Debris. *Environ Sci Technol.* 2019;53(3):1039-47.
18. Hale RC, Seeley ME, La Guardia MJ, Mai L, Zeng EY. A Global Perspective on Microplastics. *Journal of Geophysical Research: Oceans.* 2020;125(1):e2018JC014719.
19. Rainieri S, Barranco A. Microplastics, a food safety issue? *Trends in Food Science & Technology.* 2019;84:55-7.
20. Padervand M, Lichtfouse E, Robert D, Wang C. Removal of microplastics from the environment. A review. *Environmental Chemistry Letters.* 2020;18.
21. Malafaia G, Barceló D. Microplastics in human samples: Recent advances, hot-spots, and analytical challenges. *TrAC Trends in Analytical Chemistry.* 2023;161:117016.
22. Kharb J, Saharan R. Sustainable Biodegradable Plastics and their Applications: A Mini Review. *IOP Conf Ser: Mater Sci Eng.* 2022;1248(1):012008.
23. Rachid NA, Güngör ND. MICROPLASTICS IN OUR PLANET: SOURCE, DISTRIBUTION, EFFECTS AND BIODEGRADATION. *Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi - C Yaşam Bilimleri Ve Biyoteknoloji.* 2020;9(2):284-303.
24. Atugoda T, Vithanage M, Wijesekara H, Bolan N, Sarmah AK, Bank MS, et al. Interactions between microplastics, pharmaceuticals and personal care products: Implications for vector transport. *Environment International.* 2021;149:106367.
25. An L hui, Liu Q, Deng Y, Wu W, Gao Y, Ling W. Sources of Microplastic in the Environment. 2020.
26. Ye Y, Yu K, Zhao Y. The development and application of advanced analytical methods in microplastics contamination detection: A critical review. *Sci Total Environ.* 2022;818:151851.

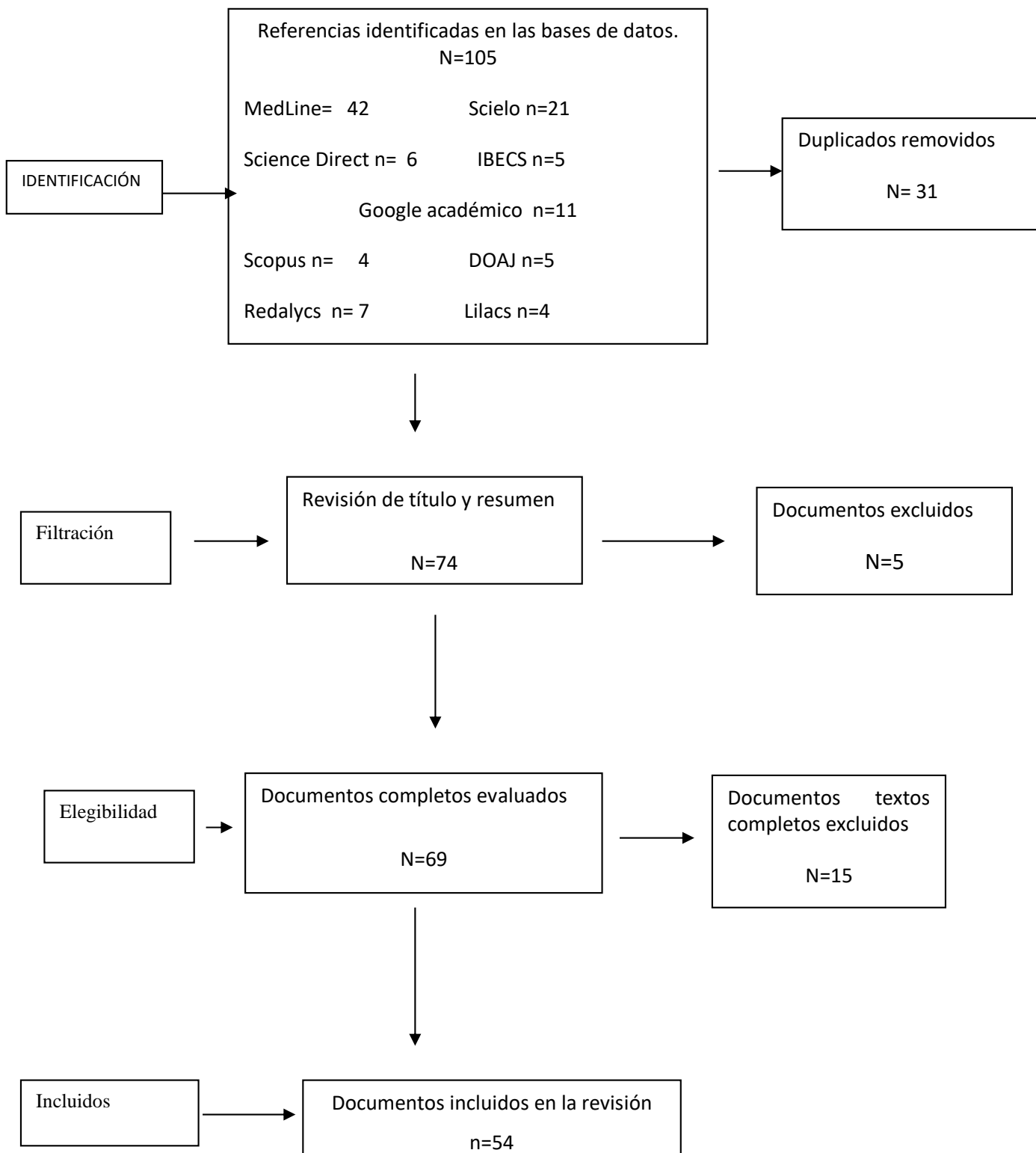
27. Islam MM. Bacterial resistance to antibiotics: access, excess, and awareness in Bangladesh. *Expert Rev Anti Infect Ther.* 2021;19(8):973-81.
28. Lerminiaux NA, Cameron ADS. Horizontal transfer of antibiotic resistance genes in clinical environments. *Can J Microbiol.* 2019;65(1):34-44.
29. Cook MA, Wright GD. The past, present, and future of antibiotics. *Sci Transl Med.* 2022;14(657):eabo7793.
30. Jansen KU, Knirsch C, Anderson AS. The role of vaccines in preventing bacterial antimicrobial resistance. *Nat Med.* 2018;24(1):10-9.
31. Tariq S, Wani S, Rasool W, Shafi K, Bhat MA, Prabhakar A, et al. A comprehensive review of the antibacterial, antifungal and antiviral potential of essential oils and their chemical constituents against drug-resistant microbial pathogens. *Microb Pathog.* 2019;134:103580.
32. Imran Md, Das KR, Naik MM. Co-selection of multi-antibiotic resistance in bacterial pathogens in metal and microplastic contaminated environments: An emerging health threat. *Chemosphere.* 2019;215:846-57.
33. Sooriyakumar P, Bolan N, Kumar M, Singh L, Yu Y, Li Y, et al. Biofilm formation and its implications on the properties and fate of microplastics in aquatic environments: A review. *Journal of Hazardous Materials Advances.* 2022;6:100077.
34. Mishra S, Swain S, Sahoo M, Mishra S, Das A. Microbial Colonization and Degradation of Microplastics in Aquatic Ecosystem: A Review. *Geomicrobiology Journal.* 2021;39.
35. Zhai X, Zhang XH, Yu M. Microbial colonization and degradation of marine microplastics in the plastisphere: A review. *Front Microbiol.* 2023;14:1127308.
36. Hossain MR, Jiang M, Wei Q, Leff LG. Microplastic surface properties affect bacterial colonization in freshwater. *J Basic Microbiol.* 2019;59(1):54-61.
37. Expertos discuten el impacto de los microplásticos en la salud y alertan del aumento de su propagación - OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud [Internet]. [citado 26 de septiembre de 2023]. Disponible en: <https://www.paho.org/es/noticias/16-8-2023-expertos-discuten-impacto-microplasticos-salud-alertan-aumento-su-propagacion>
38. Dhingra S, Rahman NAA, Peile E, Rahman M, Sartelli M, Hassali MA, et al. Microbial Resistance Movements: An Overview of Global Public Health Threats Posed by Antimicrobial Resistance, and How Best to Counter. *Front Public Health.* 2020;8:535668.
39. Blum WEH, Zechmeister-Boltenstern S, Keiblinger KM. Does Soil Contribute to the Human Gut Microbiome? *Microorganisms.* 2019;7(9):287.
40. Bartley PS, Domitrovic TN, Moretto VT, Santos CS, Ponce-Terashima R, Reis MG, et al. Antibiotic Resistance in Enterobacteriaceae from Surface Waters in Urban Brazil Highlights the Risks of Poor Sanitation. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene.* 2019;100(6):1369-77.

41. Abe K, Nomura N, Suzuki S. Biofilms: hot spots of horizontal gene transfer (HGT) in aquatic environments, with a focus on a new HGT mechanism. *FEMS Microbiology Ecology*. 2020;96(5):f1aa031.
42. Amobonye A, Bhagwat P, Raveendran S, Singh S, Pillai S. Environmental Impacts of Microplastics and Nanoplastics: A Current Overview. *Front Microbiol*. 2021;12:768297.
43. Luo H, Zhao Y, Li Y, Xiang Y, He D, Pan X. Aging of microplastics affects their surface properties, thermal decomposition, additives leaching and interactions in simulated fluids. *Science of The Total Environment*. 2020;714:136862.
44. Guo Y, Ma W, Li J, Liu W, Qi P, Ye Y, et al. Effects of microplastics on growth, phenanthrene stress, and lipid accumulation in a diatom, *Phaeodactylum tricornutum*. *Environmental Pollution*. 2020;257:113628.
45. Hu M, Palić D. Micro- and nano-plastics activation of oxidative and inflammatory adverse outcome pathways. *Redox Biology*. 2020;37:101620.
46. An XL, Chen QL, Zhu D, Zhu YG, Gillings MR, Su JQ. Impact of Wastewater Treatment on the Prevalence of Integrons and the Genetic Diversity of Integron Gene Cassettes. Elliot MA, editor. *Appl Environ Microbiol*. 2018;84(9):e02766-17.
47. Stock V, Böhmert L, Lisicki E, Block R, Cara-Carmona J, Pack LK, et al. Uptake and effects of orally ingested polystyrene microplastic particles in vitro and in vivo. *Arch Toxicol*. 2019;93(7):1817-33.
48. Tuvo B, Scarpaci M, Bracaloni S, Esposito E, Costa AL, Ioppolo M, et al. Microplastics and Antibiotic Resistance: The Magnitude of the Problem and the Emerging Role of Hospital Wastewater. *IJERPH*. 2023;20(10):5868.
49. Avershina E, Shapovalova V, Shipulin G. Fighting Antibiotic Resistance in Hospital-Acquired Infections: Current State and Emerging Technologies in Disease Prevention, Diagnostics and Therapy. *Front Microbiol*. 2021;12:707330.
50. Zhanel GG, Lawrence CK, Adam H, Schweizer F, Zelenitsky S, Zhanel M, et al. Imipenem–Relebactam and Meropenem–Vaborbactam: Two Novel Carbapenem- β -Lactamase Inhibitor Combinations. *Drugs*. 2018;78(1):65-98.
51. Pham DN, Clark L, Li M. Microplastics as hubs enriching antibiotic-resistant bacteria and pathogens in municipal activated sludge. *Journal of Hazardous Materials Letters*. 2021;2:100014.
52. Cox KD, Covernton GA, Davies HL, Dower JF, Juanes F, Dudas SE. Human Consumption of Microplastics. *Environ Sci Technol*. 2019;53(12):7068-74.
53. Corradini F, Casado F, Leiva V, Huerta-Lwanga E, Geissen V. Microplastics occurrence and frequency in soils under different land uses on a regional scale. *Science of The Total Environment*. 2021;752:141917.

54. Chen CS, Le C, Chiu MH, Chin WC. The impact of nanoplastics on marine dissolved organic matter assembly. *Science of The Total Environment*. 2018;634:316-20.

ANEXOS

ANEXO NO.1 DIAGRAMA DE FLUJO



**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL
REPOSITORIO INSTITUCIONAL**

Melany Cristina Olivo Aguilar portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0706627734**. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Influencia de los Microplásticos en la resistencia bacteriana”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos y no comerciales. Autorizo además a la Universidad Católica de Cuenca, para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, **25 de Octubre de 2023**

F: *Melany Olivo A.*

Melany Cristina Olivo Aguilar
C.I. **0706627734**