

**Estudio bibliométrico del efecto de los contaminantes emergentes del sector alimentario en
el ser humano y medio ambiente**

Lyda Andrea García Sánchez

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Químico

Modalidad presencial

Director

Crisóstomo Barajas Ferreira

Ingeniero Químico M. SC.

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Bucaramanga

2026

Dedicatoria

A mi querida mamá Obdulia, por su amor incondicional, su fuerza y su ejemplo.

Por cada sacrificio, cada palabra de aliento y cada enseñanza: gracias.

Este trabajo es también fruto de tu entrega y de todo lo que hiciste y sigues haciendo por
mí.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por iluminar mi camino, por darme fortaleza en los momentos de incertidumbre y por sostenerme con su presencia a lo largo de este proceso.

A mis padres, por su amor incondicional, por creer en mí cuando yo dudaba y por los sacrificios silenciosos que hicieron para que hoy pudiera llegar hasta aquí; su ejemplo de entrega y perseverancia es la base de todo logro.

A mi hermana, Karen Yesmin García Sanches, por su compañía, su ánimo constante y por ser refugio y cómplice en las horas largas de trabajo; tu confianza en mí fue un aliento imprescindible.

Al profesor Crisóstomo Barajas, por poner su confianza en mí para llevar a cabo este proyecto, por su guía experta, sus observaciones precisas, su tiempo y su paciencia; sus orientaciones y críticas constructivas fueron fundamentales para el crecimiento de este proyecto y para mi formación profesional.

A la Universidad Industrial de Santander y a la Escuela de Ingeniería Química, por ofrecer un entorno académico de excelencia, por los recursos y las oportunidades de formación que hicieron posible este trabajo.

A todas las personas que, de una u otra forma, aportaron su tiempo, conocimiento y cariño: mi gratitud sincera. Este logro es fruto del esfuerzo compartido y del apoyo que recibí en cada paso del camino.

Tabla De Contenido

Introducción	9
1. Objetivos	11
1.1. Objetivo general	11
1.2. Objetivos específicos	11
2. Estado Del Arte	12
3. Descripción Metodológica	15
3.1. Fase 1	15
3.1.1. Protocolo de búsqueda	15
3.1.2. Protocolo de selección y clasificación	16
3.2. Fase 2	16
3.2.1. Protocolo de revisión	16
3.3. Fase 3	17
3.3.1. Presentación de resultados y análisis	17
4. Resultados	19
4.1 Contaminantes emergentes derivados de los aditivos alimentarios y moléculas catalogadas como contaminantes emergentes presentes en los aditivos alimentarios.....	21
4.1.1 Colorante azoicos.....	22
4.1.2 Emulgentes/estabilizantes	25
4.1.3 Edulcorantes artificiales.....	26
4.1.4 Antioxidantes sintéticos	29
4.1.5 Agentes de textura y gelificantes	30
4.2 contaminantes emergentes presentes de los productos adictivos alimentarios.	32
4.3 normativa nacional vigente en la comercialización y uso de aditivos en la industria de alimentos.	37
5. Conclusiones	39
Referencias Bibliográficas	41

Lista De Abreviaturas

CEs: Contaminantes emergentes

AA: Aminas aromáticas

MT: Metales traza (Cu, Pb, Cr)

MP: Microplásticos (PE, PP, PET)

TR: Tensioactivos residuales

AO: Aldehídos oxidados

RS: Residuos de solventes (etanol, isopropanol)

CR: Compuestos recalcitrantes

MA: Metabolitos activos

P: Pesticidas (organofosforados, carbamatos)

PFAS: PFOA, PFOS, PFHxS, PFNA

MPes: Metales pesados (Pb, Cd, Hg, As)

FR: Fragmentos de hidrocoloides

AB: Antibióticos

BPA/BPS: Bisfenoles

FT: Ftalatos

NP: Nanopartículas (TiO₂, ZnO)

Lista De Tablas

Tabla 1. Contaminantes directos asociados a colorantes azoicos según la literatura consultada..	23
Tabla 2. Contaminantes indirectos asociados a colorantes azoicos según la literatura consultada	24
Tabla 3. Concentración y fuentes de contaminantes emergentes en Emulgentes/estabilizantes. .	26
Tabla 4. Edulcorantes artificiales como contaminantes emergentes	27
Tabla 5. Características y mitigación de antioxidantes sintéticos como contaminantes emergentes en Antioxidantes sintéticos	29
Tabla 6. Contaminantes emergentes presentes en Agentes de textura y gelificantes.....	31
Tabla 7. Contaminantes emergentes presentes en diferentes aditivos alimentarios	34
Tabla 8. Método de eliminación y limitaciones de diferentes contaminantes emergentes presentes en aditivos alimentarios.	35

Lista De Figuras

Figura 1. Actividades por realizar según la metodología de este trabajo	18
Figura 2. Proceso de selección de la literatura recopilada para el desarrollo de este estudio.....	19
Figura 3. Contaminantes emergentes en las áreas principales de las actividades humanas.....	20
Figura 4. Mapa conceptual sobre CE's presentes en aditivos alimentarios	36

Resumen

Título: Estudio bibliométrico del efecto de los contaminantes emergentes del sector alimentario en el ser humano y medio ambiente.*

Autor: Lyda Andrea García Sánchez.**

Palabras clave: Contaminantes Emergentes, Aditivos alimentarios.

Descripción.

Los contaminantes emergentes (CE) son sustancias químicas sintéticas o naturales, o incluso microorganismos, que no han sido regulados ni monitoreados sistemáticamente en el pasado, pero cuya presencia creciente en el ambiente y en productos de consumo masivo como los aditivos alimentarios plantea serias preocupaciones por sus efectos adversos sobre la salud humana y el medio ambiente [1]. Los procesos industriales que emplean solventes, colorantes, conservantes y emulsionantes sintéticos pueden contener trazas de contaminantes no declarados. En este trabajo, se realizó una búsqueda bibliográfica basada en artículos científicos de revistas como Science Direct, Nature y Elsevier, proyectos de grado del catálogo bibliográfico de la Universidad Industrial de Santander por su amplio y actualizado contenido bibliográfico, reportes de páginas web y bases de datos como Springer y Up To Date que proporcionaran información sobre los contaminantes provenientes de actividades humanas en las que implican el uso de aditivos alimentarios, logrando así una búsqueda más precisa en cuanto a los efectos a nivel de salud y del medio ambiente, para ser estructurados en mapas mentales y conceptuales usados como herramientas para la organización de información relevante.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: M. Sc. Crisóstomo Barajas Ferreira.

Abstract

Title: Bibliometric study of the effect of emerging contaminants from the food sector on humans and the environment.*

Author: Lyda Andrea García Sánchez.**

Keywords: Emerging Contaminants; Food Additives.

Description.

Emerging contaminants (ECs) are synthetic or natural chemical substances, or even microorganisms, that have not been systematically regulated or monitored in the past, but whose increasing presence in the environment and in mass-consumption products such as food additives raises serious concerns about their adverse effects on human health and the environment. Industrial processes that use solvents, colorants, preservatives, and synthetic emulsifiers may contain traces of undeclared contaminants. In this work, a bibliographic search was conducted based on scientific articles from journals such as Science Direct, Nature, and Elsevier; undergraduate thesis projects from the bibliographic catalog of the Universidad Industrial de Santander due to its broad and up-to-date bibliographic content; reports from web pages; and databases such as Springer and UpToDate that provided information on contaminants originating from human activities involving the use of food additives, thus achieving a more precise search regarding effects on health and the environment, to be structured into mind maps and concept maps used as tools for organizing relevant information.

* Degree work

** Physicochemical Engineering Faculty. School of Chemical Engineering. Director: M. Sc. Crisóstomo Barajas Ferreira.

Introducción

La seguridad alimentaria enfrenta un reto creciente con la aparición de contaminantes emergentes en aditivos alimentarios, definidos como sustancias químicas o biológicas que no estaban previamente reguladas ni identificadas, pero cuya presencia en la cadena de producción puede afectar la salud humana y el medio ambiente [2]. Estos compuestos, que incluyen desde microplásticos hasta residuos de fármacos y migrantes provenientes de envases, han despertado un interés académico y normativo debido a su potencial impacto en la seguridad de los alimentos y en la sostenibilidad de los sistemas de producción.

Hablar de los contaminantes emergentes en los aditivos alimentarios es reconocer que estamos frente a un reto silencioso pero cada vez más evidente. Estos compuestos, que muchas veces pasan desapercibidos, tienen una dificultad de detección enorme: no existen métodos estandarizados que permitan identificarlos de manera rutinaria, lo que hace que su presencia se escape de los controles habituales.

A esto se suma la ausencia de regulación específica. Aunque se cuenta con normas internacionales como el Codex Alimentarius, todavía no se han establecido límites claros para muchos de estos contaminantes. En la práctica, esto significa que los sistemas de vigilancia y control trabajan con vacíos normativos, dejando a los consumidores expuestos a riesgos que aún no están completamente dimensionados.

El tercer aspecto es quizá el más preocupante: su impacto multidimensional. No se trata solo de un problema técnico, sino de una amenaza que toca varias dimensiones de nuestra vida. En la salud humana, se han asociado con alteraciones metabólicas, inflamación intestinal y disrupciones endocrinas. En el ambiente, su acumulación en suelos y aguas compromete la sostenibilidad de la cadena alimentaria y, en consecuencia, la seguridad de los alimentos que consumimos día a día [1].

La investigación sobre contaminantes emergentes en materiales destinados al envase alimentario aporta evidencia de cómo migrantes químicos provenientes de plásticos y recubrimientos pueden incorporarse a los alimentos, generando una exposición indirecta que se suma a la de los aditivos convencionales. Este hallazgo refuerza la necesidad de evaluar integralmente la cadena de suministro, considerando tanto los aditivos intencionales como los contaminantes no previstos [5]. Asimismo, estudios recientes destacan el papel de los emulsionantes y colorantes sintéticos en la alteración del microbiota intestinal, lo que abre un debate sobre la seguridad de su uso prolongado en dietas modernas. La literatura científica sugiere que la exposición crónica a estos compuestos, combinada con contaminantes emergentes, puede tener efectos sinérgicos aún poco comprendidos [2].

Desde una perspectiva académica y normativa, resulta imprescindible avanzar hacia un enfoque interdisciplinario que permita enfrentar de manera integral la problemática de los contaminantes emergentes en aditivos alimentarios. Esto implica, por un lado, fortalecer la ciencia básica y aplicada mediante el desarrollo de nuevas metodologías analíticas que faciliten su detección temprana y confiable. Al mismo tiempo, se requiere una actualización de la regulación internacional, adaptando estándares como los de la FAO y la OMS para que contemplen estos compuestos y reduzcan los vacíos normativos que hoy persisten [5].

La problemática de los contaminantes emergentes es global, y las investigaciones buscan caracterizarlos para mitigar su impacto en la salud y el ambiente, abordando el interrogante ¿Cuál es el efecto de los contaminantes emergentes presente en los alimentos sobre el ser humano y medio ambiente?

1. Objetivos

1.1. Objetivo general

— Estudiar con un enfoque bibliométrico el efecto de los contaminantes emergentes del sector alimentario en el ser humano y medio ambiente.

1.2. Objetivos específicos

— Identificar los contaminantes activos y moléculas catalogados como contaminantes emergentes presentes en los aditivos alimentarios.

— Elaborar un mapa conceptual de los contaminantes emergentes presentes de los productos adictivos alimentarios.

— Analizar la normativa nacional vigente en la comercialización y uso de aditivos en la industria de alimentos.

2. Estado Del Arte

Una de las características clave de los contaminantes emergentes según [8] es que el término de contaminantes emergentes (CE) generalmente se utiliza para referirse a compuestos de distinto origen y naturaleza química, cuya presencia en el medio ambiente no se considera significativa en términos de distribución y/o concentración, por lo que pasan inadvertidos; no obstante, ahora están siendo ampliamente detectados y tienen el potencial de acarrear un impacto ecológico, así como efectos adversos sobre la salud. La característica de estos grupos de contaminantes es que no necesitan estar constantemente en el ambiente para causar efectos negativos, puesto que sus altas tasas de transformación/remoción se pueden compensar por su introducción continua en el ambiente.

En la actualidad, los "contaminantes emergentes" han generado un interés cada vez mayor; estos incluyen a los medicamentos y artículos de uso personal, surfactantes, retardantes de fuego, aditivos industriales y esteroides, además de los residuos de la desinfección.

Una de las principales fuentes de CEs son las aguas residuales urbanas, según [9] es la eliminación completa de estas sustancias por medio de tratamiento biológico en Estaciones de Tratamiento de Aguas Residuales (ETARs) es una gran problemática, debido a las limitaciones analíticas para identificar cada uno de sus compuestos, por ello se hace necesario utilizar tratamientos alternativos como "Procesos de Oxidación Avanzados" (POAs), que producen especies altamente oxidantes (Radical Hidroxilo), dando lugar a la eliminación total o parcial de compuestos resistentes al tratamiento convencional a nivel de laboratorio.

En los países industrializados, el rápido desarrollo de la ciencia y la tecnología de los alimentos ha propiciado una mayor diversidad y complejidad en la cadena alimentaria. Esta situación ha llevado a que los alimentos comercializados puedan estar expuestos a una mayor

probabilidad de contener sustancias nocivas. Así mismo, los aditivos alimenticios se encuentran ampliamente presentes en los alimentos ultra procesados.

[10] Expone que los colorantes alimentarios, también conocidos como aditivos de color, son sustancias ampliamente utilizadas en los sectores comerciales y no alimentarios para mejorar la apariencia de alimentos y bebidas. Mejoran el atractivo visual, corrigen las variaciones naturales de color, intensifican los colores y contrarrestan la decoloración causada por factores ambientales.

Según [11] la seguridad alimentaria enfrenta nuevos desafíos debido a la presencia de contaminantes emergentes, incluidos ciertos aditivos alimentarios con potencial tóxico. El estudio expone que, ante las limitaciones de los métodos analíticos tradicionales, los sensores basados en materiales orgánicos metalados (MOF) ofrecen una alternativa eficaz por su alta sensibilidad, funcionalización versátil y capacidad para detectar residuos como pesticidas, metales pesados y aditivos nocivos. Además, se destaca el diseño estructural de los MOF y sus aplicaciones prácticas en el monitoreo de contaminantes en alimentos, posicionándolos como herramientas clave en la vigilancia alimentaria moderna.

Estudios recientes han evidenciado que aditivos alimentarios como la tartrazina (TTZ) y el glutamato monosódico (MSG), aunque comúnmente utilizados, pueden actuar como contaminantes emergentes debido a sus efectos adversos sobre la salud. Se ha documentado su implicación en procesos neurotóxicos, hepatotoxicidad y disbiosis intestinal, con alteraciones en el microbiota que afectan el eje intestino-cerebro y contribuyen a trastornos metabólicos y neurológicos [12]. Animales como el pez cebra han permitido observar daños tisulares y cambios en enzimas metabólicas clave, lo que refuerza la preocupación sobre su impacto sistémico [12].

En línea con los enfoques actuales sobre toxicología ambiental, [4] investigan los mecanismos moleculares de toxicidad inducidos por microplásticos en sedimentos costeros de La

Guajira, Colombia. Su estudio demuestra que estos contaminantes emergentes generan estrés oxidativo, inestabilidad genómica y alteraciones en rutas celulares clave en organismos marinos. Aunque el contexto es ambiental, los mecanismos descritos son extrapolables al análisis de aditivos alimentarios contaminados, especialmente cuando se emplean modelos experimentales como organoides humanos para evaluar efectos en tejidos específicos y establecer vínculos entre exposición crónica y daño celular.

De acuerdo con [13] tras una revisión sistemática de los modelos in vitro disponibles, los organoides se consolidan como herramientas avanzadas para evaluar la toxicidad de compuestos presentes en aditivos alimentarios, particularmente aquellos clasificados como contaminantes emergentes. Gracias a su capacidad para replicar funciones específicas de órganos humanos como el intestino y el hígado, estos modelos tridimensionales permiten identificar efectos fisiológicos precisos que no se evidencian en modelos animales ni en cultivos celulares bidimensionales. En consecuencia, los organoides se perfilan como plataformas clave para fortalecer la seguridad alimentaria y orientar la regulación de sustancias aún no contempladas por los marcos normativos vigentes.

Por otro lado, de acuerdo con la revisión normativa europea, “el dióxido de titanio (E171), utilizado como colorante alimentario, presenta nanopartículas con propiedades genotóxicas que no han sido suficientemente evaluadas en humanos. Los colorantes azoicos, por su parte, pueden degradarse en condiciones térmicas o metabólicas, generando aminas aromáticas con potencial carcinogénico” [1].

3. Descripción Metodológica

El proyecto está enfocado en una revisión bibliométrica y revisión de bases de datos a partir de un diseño predeterminado PRISMA para revisión sistemática (Blanco Gómez et al., 2020) con el fin de reducir la información, en la etapa de selección de la literatura como la etapa de análisis y cumplir con el propósito de estructurar la información dada de forma ordenada y concisa la cual se fundamenta en tres fases correspondientes al desarrollo de los tres objetivos específicos propuestos y posterior a esto, un reporte de la información. Cada fase presenta un hilo conductor del proceso de contaminación por parte de los CE; enfocado en la industria de alimentos.

Para la revisión de cada fase, se plantea una contextualización de la temática inicial, con el propósito de realizar una aproximación sobre los CE y dar respuesta a la pregunta investigativa: ¿Cuál es el efecto de los contaminantes emergentes presente en los alimentos sobre el ser humano y medio ambiente? y el planteamiento del diseño de búsqueda.

3.1. Fase 1

3.1.1. Protocolo de búsqueda

Partiendo del protocolo de búsqueda documental, se estableció como eje central la utilización de la Biblioteca Virtual de la Universidad Industrial de Santander, seleccionada por la amplitud, actualidad y accesibilidad de sus recursos académicos. se hace una identificación correcta de términos clave que permitan sintetizar en palabras el tema, tales como: contaminantes emergentes, fuentes hídricas, aguas residuales, tratamientos de agua, aditivos alimentarios. La investigación se desarrolla con palabras clave en inglés y español, dentro del periodo 2019–2026. Se utilizan fuentes digitales de alto rigor científico como Web of Science, SciELO, ScienceDirect, Scopus y Springer. Se priorizan artículos de investigación, revisiones científicas y literatura especializada. Además, se integran herramientas electrónicas como ACCESS Medicine, Virtual

Pro y sitios web con contenido validado, lo que permite garantizar la actualidad y confiabilidad del material consultado.

3.1.2. Protocolo de selección y clasificación

Para dar inicio al protocolo de selección, se contempla la información relevante para el estudio, con el propósito de facilitar su análisis en etapas posteriores (Blanco Gómez et al., 2020). Para ello, se construirá una base de datos en Microsoft Excel que permita clasificar los documentos según criterios específicos. Esta base incluirá el título del artículo, nombre del autor, año de publicación, localizador uniforme de recursos (URL), motivos de inclusión o exclusión, con el fin de minimizar sesgos en cada fase del proceso y el objetivo al que hace referencia cada documento. Complementariamente, se empleará la herramienta Mendeley para gestionar las referencias bibliográficas y mantener un orden sistemático en el manejo de los documentos seleccionados.

3.2. Fase 2

3.2.1. Protocolo de revisión

En esta etapa, se procede a la lectura detallada de cada documento previamente seleccionado, con el fin de extraer los datos pertinentes y organizarlos en la base de datos construida en fases anteriores. Posteriormente, los registros serán clasificados mediante tablas dinámicas, lo que permitirá una localización más ágil y eficiente de la información. A continuación, se realizará la síntesis de los contenidos, describiendo de manera precisa los parámetros establecidos para la revisión, tales como la identificación de componentes contaminantes presentes en bebidas saborizadas.

3.3. Fase 3

3.3.1. Presentación de resultados y análisis

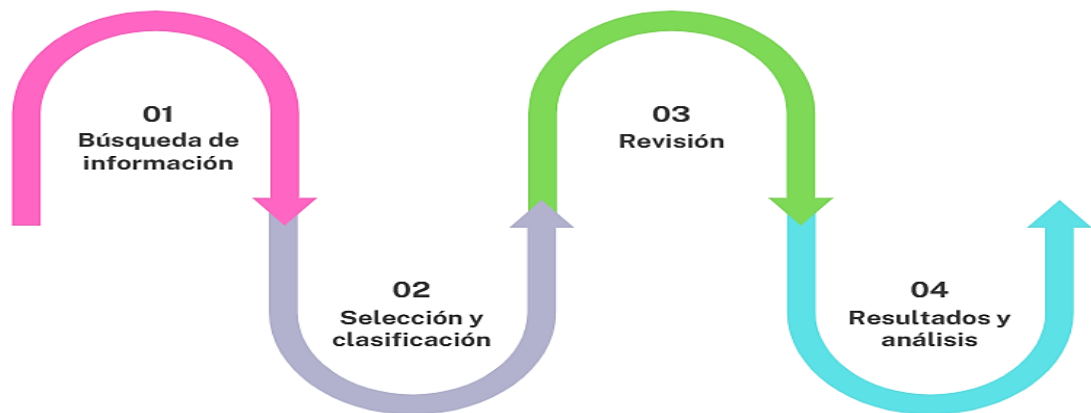
En esta última fase, se incluye el número total de estudios considerados, especificando aquellos que son aceptados y rechazados, junto con las razones que justifican cada exclusión. Presenta las características generales de los estudios seleccionados y realiza un análisis global del riesgo de sesgo, basado en la metodología PRISMA (Blanco Gómez et al., 2020). El objetivo de esta etapa es dar a conocer los resultados obtenidos en relación con los objetivos planteados y responder las preguntas formuladas en la descripción del problema, mediante conclusiones, recomendaciones y aportes derivados de la investigación.

Para el primer objetivo se llevará a cabo una clasificación de los aditivos alimentarios según su composición química, con énfasis en aquellos utilizados en productos de consumo frecuente. Esta clasificación se enfocará especialmente en los aditivos presentes en alimentos procesados, y se complementará con la elaboración de un mapa conceptual que permita identificar los contaminantes emergentes derivados de estos compuestos. En el segundo objetivo se presentará información detallada sobre los componentes activos y/o subproductos de cada una de las sustancias identificadas que son consideradas peligrosas y tóxicas para las fuentes hídricas. Finalmente, en el tercer objetivo se realizará un análisis detallado y una evaluación del impacto que estas sustancias generan en los cuerpos de agua, así como seres humanos y medio ambiente, con el propósito de generar conciencia sobre las consecuencias del uso desmedido y poco regulado de ciertos aditivos alimentarios.

En la Figura 1. se presentan las actividades realizadas en cada una de las fases de este trabajo.

Figura 1.

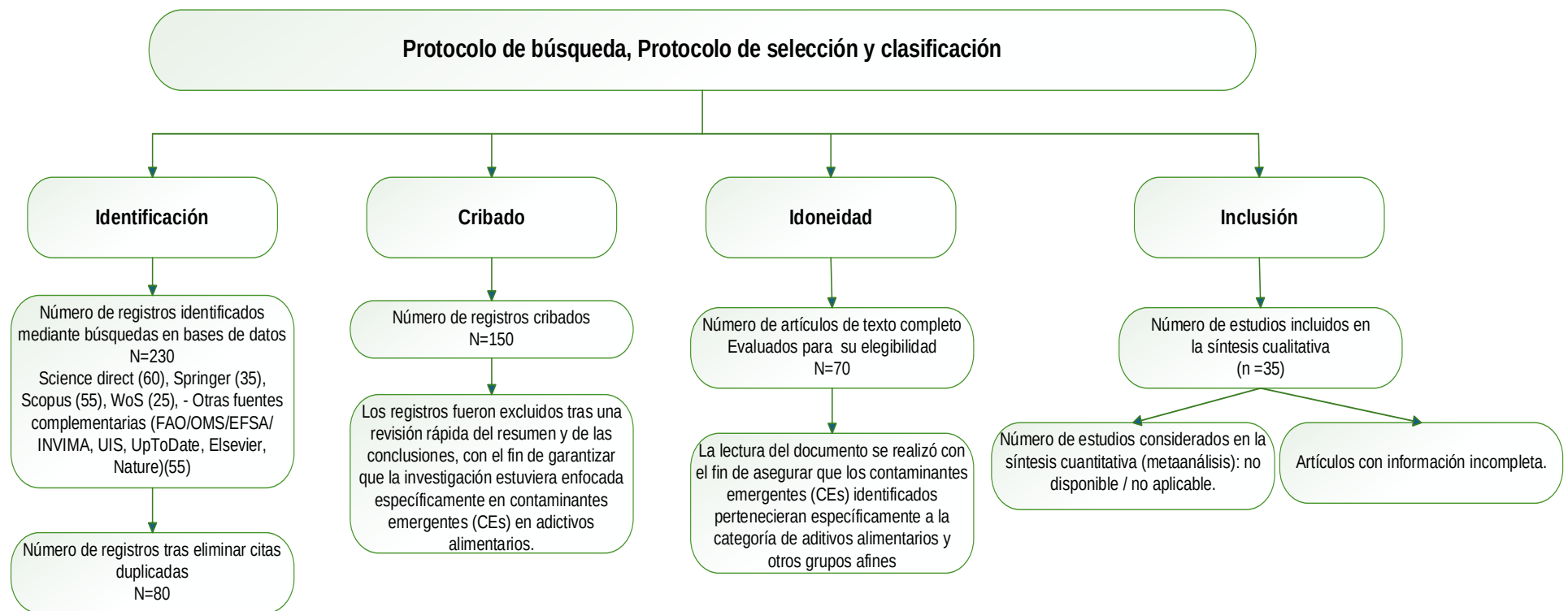
Actividades por realizar según la metodología de este trabajo



4. Resultados

Figura 2.

Proceso de selección de la literatura recopilada para el desarrollo de este estudio.



En la figura 2, se representa el proceso de selección de la literatura recopilada sobre contaminantes emergentes (CEs) en adictivos alimentarios y de esta forma desarrollar este trabajo. La búsqueda en las bases de datos seleccionadas proporcionó información concisa y pertinente para determinar las áreas clave asociadas a las actividades humanas que originan contaminantes emergentes. Los resultados de esta etapa se estructuraron en forma de mapa mental y mapa conceptual.

A continuación, En la Figura 3 se presenta el mapa mental general que organiza los principales grupos de contaminantes emergentes (CEs) según su origen: doméstico, agrícola y ganadero e industrial. Para el enfoque de esta investigación, se destaca el sector industrial, donde se incluyen los aditivos alimentarios como categoría relevante. Estos compuestos, utilizados en la formulación, conservación y mejora de productos alimenticios, pueden generar efectos adversos en la salud humana y el ambiente, especialmente cuando se acumulan en la cadena alimentaria. La representación gráfica permite visualizar cómo los CEs vinculados a los aditivos se relacionan con otras fuentes como los microplásticos, retardantes de llama y aditivos de gasolina, lo que refuerza la necesidad de una revisión crítica sobre su regulación y control.

Figura 3.

Contaminantes emergentes en las áreas principales de las actividades humanas.



Nota. Tomado de Díaz Saavedra, M. G., & Rubiano Ariza, A. (2021)

4.1 Contaminantes emergentes derivados de los aditivos alimentarios y moléculas catalogadas como contaminantes emergentes presentes en los aditivos alimentarios.

Los aditivos alimentarios forman parte de nuestra vida cotidiana: están en los productos que consumimos a diario, desde bebidas hasta alimentos procesados. Sin embargo, detrás de su funcionalidad tecnológica, mejorar el sabor, conservar por más tiempo, dar color o textura se esconde una preocupación creciente: su potencial impacto como contaminantes emergentes.

Estos compuestos, o sus productos de degradación, presentan características como alta solubilidad, baja biodegradación y capacidad de bioacumulación, lo que facilita su ingreso tanto al ser humano a través del consumo directo de alimentos procesados como al medio ambiente mediante residuos industriales y domésticos [18,19].

El ciclo de vida de los aditivos no termina con el consumo del alimento. Una proporción significativa de estos compuestos es excretada por el cuerpo humano sin metabolizar o en forma de metabolitos activos, ingresando a los sistemas de alcantarillado.

Diversas investigaciones han confirmado que las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) convencionales no están diseñadas para eliminar eficazmente moléculas complejas como el acesulfamo de potasio o la sucralosa. Debido a su alta solubilidad acuosa y baja biodegradabilidad, estos edulcorantes persisten en el efluente y terminan en cuerpos de agua superficiales, actuando como marcadores antropogénicos de contaminación, una vez en el medio acuático, estos aditivos pueden alterar el equilibrio de los ecosistemas. Se ha documentado que ciertos conservantes y antioxidantes sintéticos pueden inducir estrés oxidativo en organismos acuáticos y modificar la estructura de las comunidades microbianas, afectando la base de la cadena trófica [8, 31]. El reingreso de estos contaminantes al ser humano se da por dos vías: el consumo directo de alimentos ultra procesados y, de manera indirecta, a través del agua potable o alimentos regados con aguas impactadas, cerrando un ciclo de exposición crónica, existe evidencia creciente

de que ciertos aditivos, particularmente aquellos que migran de los envases (como ftalatos y bisfenoles, a menudo analizados junto con aditivos directos) y algunos conservantes, actúan como disruptores endocrinos. Estos compuestos pueden mimetizar hormonas naturales, alterando funciones reproductivas y metabólicas [32].

Un desafío crítico identificado en la bibliografía es la exposición simultánea a múltiples aditivos. Las evaluaciones de riesgo actuales suelen analizar sustancias de forma aislada, subestimando la toxicidad de las mezclas ("efecto cóctel"), donde la interacción entre varios compuestos puede potenciar efectos adversos que no se observarían individualmente.

A continuación, se presentan diferentes CE's pertenecientes a los aditivos alimentarios.

4.1.1 Colorante azoicos

Los colorantes azoicos como la tartrazina (E102), la azorrubina (E122) y el amarillo oca FCF (E110) pueden liberar aminas aromáticas tras la reducción de su enlace azo, lo que representa un riesgo potencialmente carcinogénico en el consumo humano [21]. Para su eliminación, se han empleado procesos de oxidación avanzada (AOP), ozonización, fotocátalisis y Fenton que logran degradar el enlace azo y disminuir la toxicidad. Sin embargo, la mineralización completa rara vez se alcanza, quedando subproductos aromáticos que requieren tratamientos adicionales [22].

La problemática se amplía con contaminantes indirectos. Los (PFAS), altamente persistentes, pueden migrar desde envases hacia alimentos y no se eliminan totalmente con tratamientos convencionales; tecnologías como carbón activado granular, intercambio iónico y ósmosis inversa muestran eficacia parcial, pero generan corrientes concentradas difíciles de gestionar [23].

Además, los microplásticos y nanoplásticos actúan como vectores de adsorción, transportando colorantes y otros contaminantes a través de la cadena alimentaria. Su tamaño les permite atravesar filtraciones estándar, lo que obliga a considerar membranas avanzadas o tratamientos combinados [25]. En la Tabla 1 y 2, se presentan la literatura consultada sobre las concentraciones de diferentes contaminantes emergentes.

Tabla 1.

Contaminantes directos asociados a colorantes azoicos según la literatura consultada

Colorante azoico	CEs	Fuente/causa	Tipo de alimento	Concentración	Riesgo principal
Tartrazina (E102)	Aminas aromáticas (anilina, sulfanilica)	Reducción intestinal/ambiental del enlace azo	Bebidas, confitería, productos infantiles	Moléculas disueltas <1 nm	Genotoxicidad carcinogenicidad
Amarillo Ocaso FCF (E110)	Aminas aromáticas derivadas	Reducción en condiciones anóxicas o por microbiota	Productos horneados, salsas, snacks	Moléculas disueltas <1 nm	Genotoxicidad, exposición acumulada
Azorrubina (E122)	Aminas aromáticas derivadas	Escisión azo por agentes reductores	Postres gelificados, bebidas coloreadas	Moléculas disueltas <1 nm	Genotoxicidad, efectos crónicos

Tabla 2.*Contaminantes indirectos asociados a colorantes azoicos según la literatura consultada*

Colorante azoico	CEs	Fuente/causa	Tipo de alimento	concentración	Riesgo principal
Tartrazina (E102)	Metales traza (Cu, Pb, Cr)	Impurezas de síntesis y catalizadores	Bebidas coloreadas, confitería	Iones/metales traza en solución 0.1–1 nm	Neurotoxicidad Nefrotoxicidad, Bioacumulación
Amarillo Ocaso FCF (E110)	PFAS (PFOA, PFOS, PFHxS, PFNA)	Migración desde envases/recubrimientos	Alimentos grasos, lácteos, bebidas envasadas	Moléculas disueltas <1 nm; adsorción en micro/nanoplásticos	Persistencia, disrupción endocrina, toxicidad sistémica
Azorrubina (E122)	Micro/nanoplásticos (vectores)	Presencia en agua proceso; adsorción de colorantes otros	Bebidas azucaradas, postres procesados	Microplásticos <5 mm; Nanoplásticos <100 nm	Transporte de tóxicos, interacción con tejidos
Todos (en procesos de eliminación AOP)	Aldehídos y aromáticos oxidados (intermedios)	Oxidación incompleta en ozono/fotocatálisis	Efluentes y aguas residuales de proceso	Moléculas pequeñas disueltas <1 nm	Toxicidad transitoria si no hay mineralización

4.1.2 Emulgentes/estabilizantes

En el caso de los hidrocoloides utilizados como emulgentes y estabilizantes, los contaminantes emergentes ingresan principalmente por la absorción ambiental en las materias primas (algas, semillas, aceites), la incorporación de residuos durante los procesos industriales de síntesis y refinado, y la migración de compuestos plásticos desde envases y equipos de procesamiento. Estas vías explican la presencia de microplásticos, metales pesados y solventes en carragenina, alginatos, polisorbatos y lecitinas empleados en la industria alimentaria [26].

Actualmente [27] señala que los contaminantes emergentes en matrices alimentarias requieren tecnologías específicas de mitigación, diversos estudios han evaluado tecnologías de remoción de contaminantes emergentes presentes en hidrocoloides utilizados como emulgentes y estabilizantes, destacando procesos como la adsorción con carbón activado, la oxidación avanzada (ozono, peróxido de hidrógeno, fotocátalisis) y la filtración con membranas. Estas investigaciones demuestran que es posible reducir la presencia de microplásticos, metales pesados y residuos de solventes en carragenina, alginatos y polisorbatos, aunque la eficacia depende de las condiciones de operación y la matriz alimentaria.

En la Tabla 3 se presentan los resultados reportados en la literatura consultada sobre contaminantes emergentes presentes en Emulgentes/estabilizantes.

Tabla 3*Concentración y fuentes de contaminantes emergentes en Emulgentes/estabilizantes.*

CEs	Concentración reportada	Aditivo afectado	Alimentos donde se detecta	Fuente de ingreso
Microplásticos (PE, PP, PET)	10–250 µg/kg	Carragenina, alginatos	Postres lácteos, gelatinas, bebidas vegetales	Absorción en algas marinas
Metales pesados (Pb, Cd, Hg)	0.05–1.2 mg/kg	Alginatos, goma guar	Panificados, salsas, productos cárnicos procesados	Bioacumulación en cultivos/algas
Residuos de solventes (etanol, isopropanol)	5–30 µg/kg	Polisorbatos (E-432 a E-436)	Helados, margarinas, productos de repostería	Procesos industriales de síntesis
Pesticidas (organofosforados, carbamatos)	0.1–0.8 mg/kg	Lecitinas, goma arábica	Chocolates, confitería, bebidas instantáneas	Residuos agrícolas en semillas/plantas
PFAS (compuestos perfluorados)	0.02–0.3 µg/kg	Pectinas, gomas	Yogures, jugos procesados, productos infantiles	Migración desde envases plásticos

4.1.3 Edulcorantes artificiales

Los edulcorantes artificiales, como la sacarina, el aspartame, el acesulfame-K y la sucralosa, forman parte del grupo de aditivos alimentarios autorizados que se utilizan para proporcionar sabor dulce sin aportar calorías, siendo ampliamente empleados en bebidas, productos lácteos y confitería [24].

En este sentido, diversos autores señalan que los edulcorantes artificiales se consideran contaminantes emergentes porque sus fuentes de ingreso abarcan tanto procesos directos como indirectos: la síntesis industrial deja residuos químicos y subproductos, las materias primas agrícolas aportan pesticidas y metales pesados, la migración de compuestos desde envases plásticos introduce PFAS y microplásticos, y finalmente, tras el consumo humano, muchos de estos compuestos son excretados sin degradarse y retornan al ambiente a través de aguas residuales [24,26,28].

En primer lugar, [29] señala que la eliminación de edulcorantes artificiales como contaminantes emergentes requiere la aplicación de Procesos de Oxidación Avanzada (POA), tales como ozonización, fotocátalisis y peróxido de hidrógeno activado, ya que los tratamientos convencionales no logran degradarlos de manera efectiva. Así mismo, [28] evidencia que la radiación ultravioleta (UV) permite una degradación parcial de compuestos como sucralosa y acesulfame-K, aunque su persistencia confirma la necesidad de combinar esta técnica con otros procesos avanzados para lograr una remoción más eficaz.

En la Tabla 4 se presentan los resultados reportados en la literatura consultada sobre edulcorantes artificiales como contaminantes emergentes, incluyendo sus fuentes de ingreso, contaminantes asociados, persistencia ambiental, tecnologías de remoción evaluadas, impactos ambientales y en la salud humana.

Tabla 4.

Edulcorantes artificiales como contaminantes emergentes

Edulcorante artificial	Fuente de ingreso	CEs	Persistencia ambiental	Tecnologías de remoción evaluadas	Impacto ambiental	Impacto en salud humana
Sucralosa	Excreción humana, síntesis industrial, envases plásticos	Subproductos clorados, PFAS, micro plásticos	No se degrada en plantas convencionales	POA (ozono, fotocátalisis), UV, membranas	Bioacumulación en cuerpos de agua, afectación de microbiota acuática	Alteración de microbiota intestinal, posible disrupción endocrina
Acesulfame-K	Excreción humana, migración desde envases, materias primas agrícolas	Metales pesados, PFAS	Detectado en aguas residuales tratadas	Radiación UV, POA, electroquímicos	Persistencia en efluentes tratados, toxicidad crónica en organismos acuáticos	Posible genotoxicidad, efectos neuroconductuales en estudios experimentales
Aspartame	Síntesis industrial, materias primas contaminadas	Residuos químicos, pesticidas	Degradación parcial en condiciones específicas	POA, filtración avanzada, adsorción con carbón activado	Formación de subproductos tóxicos en ambientes acuáticos	Riesgo de neurotoxicidad y alteración metabólica en exposiciones prolongadas
Sacarina	Migración desde envases, síntesis industrial	Microplásticos, subproductos aromáticos	Estable frente a tratamientos convencionales	POA, electroquímicos, membranas de nanofiltración	Contaminación de sedimentos, afectación de especies bentónicas	Posible efecto carcinogénico en estudios animales, alteración renal

4.1.4 Antioxidantes sintéticos

Los antioxidantes sintéticos como BHA, BHT y TBHQ, ampliamente utilizados en alimentos procesados, han sido clasificados como contaminantes emergentes por su persistencia ambiental y los efectos adversos reportados en estudios toxicológicos, incluyendo disrupción endocrina, genotoxicidad y bioacumulación en organismos acuáticos [26]. La investigación realizada por [12] evidencia que son sustancias químicas cuya presencia en aguas puede suponer un riesgo para el medio ambiente y la salud humana. No se trata de compuestos nuevos, sino de sustancias que hasta ahora no se habían podido determinar en bajas concentraciones. Su detección ha sido posible gracias a los avances en cromatografía y espectrometría de masas, lo que ha permitido confirmar su persistencia y necesidad de control.

Como se evidencia [31] los (PAOs) se han convertido en alternativas sostenibles para la eliminación de contaminantes orgánicos persistentes, incluyendo aditivos como antioxidantes sintéticos. Aunque logran una degradación significativa, la mineralización completa rara vez se alcanza, ya que suelen generarse subproductos intermedios que mantienen el carácter de contaminantes emergentes en aguas residuales.

En consecuencia, la problemática persiste y se evidencia la necesidad de combinar tecnologías de tratamiento y fortalecer la vigilancia ambiental para mitigar los riesgos asociados a estos compuestos. Con base en lo anterior, en la tabla 5 se presentan los resultados reportados en la literatura consultada sobre contaminantes emergentes presentes en antioxidantes sintéticos.

Tabla 5

Características y mitigación de antioxidantes sintéticos como contaminantes emergentes en Antioxidantes sintéticos

Antioxidante sintético	Alimentos donde se encuentra	Concentración reportada	Afectaciones en salud humana	Impacto ambiental	Métodos de eliminación estudiados
BHA (Butylated Hydroxyanisole)	Cereales, snacks, chicles, grasas y aceites	50–200 mg/kg	Hepatotoxicidad, disrupción endocrina, posible carcinogenicidad	Persistencia en aguas residuales, bioacumulación en peces	Procesos avanzados de oxidación (ozono, UV, fotocátalisis); adsorción en carbón activado
BHT (Butylated Hydroxytoluene)	Margarinas, Carnes procesadas, Galletas, Bebidas	100–300 mg/kg	Nefrotoxicidad, alteraciones inmunológicas, genotoxicidad	Resistencia a tratamientos convencionales, formación de subproductos fenólicos	Ozonación, membranas, bioelectroquímicos
TBHQ (Terc-Butylhydroquinone)	Papas fritas, Aceites vegetales, Productos congelados	100–400 mg/kg	Neurotoxicidad, estrés oxidativo, alteraciones metabólicas	Persistencia en suelos y aguas, riesgo de transferencia trófica	Fotocátalisis solar, adsorción en nanoestructuras, procesos avanzados de oxidación

4.1.5 Agentes de textura y gelificantes

Los agentes gelificantes son una serie de aditivos artificiales que se utilizan para dar una mejor consistencia y textura a varios alimentos de origen industrial. Normalmente, aumentan la viscosidad de las elaboraciones actuando sobre su estructura. En líneas generales, se trata de sustancias que se suelen extraer de compuestos naturales y refinadas para su uso en la industria alimentaria [35]. Investigaciones hechas por [36] evidencian que la contaminación por microplásticos y otros contaminantes emergentes en matrices ambientales actúa como vía indirecta de transferencia hacia la cadena alimentaria, afectando insumos utilizados para elaborar aditivos como gelificantes y agentes de textura; esta persistencia ambiental favorece su incorporación y exposición crónica.

La carragenina y la carboximetilcelulosa, ampliamente utilizadas como agentes de textura en alimentos procesados, han sido identificadas como compuestos que pueden generar fragmentos poliméricos persistentes en aguas residuales. Estos derivados, junto con residuos de goma xantana, se consideran contaminantes emergentes debido a su resistencia a la biodegradación y a los efectos adversos reportados en la microbiota intestinal y ecosistemas acuáticos [26].

Actualmente, los fragmentos poliméricos derivados de carragenina, carboximetilcelulosa y goma xantana han sido tratados mediante procesos de oxidación avanzada, adsorción en carbón activado y sistemas de membranas, con el objetivo de reducir su persistencia en aguas residuales. Estos métodos buscan eliminar contaminantes emergentes resistentes a la biodegradación, aunque presentan limitaciones en eficiencia y costos [28]. Los estudios recientes han demostrado que la fotocatalisis heterogénea y la adsorción en materiales avanzados constituyen soluciones efectivas para la eliminación de fragmentos poliméricos derivados de carragenina y goma xantana en aguas residuales [29].

Tabla 6

Contaminantes emergentes presentes en Agentes de textura y gelificantes

Aditivo	CEs	Concentración reportada	Riesgo humano	Riesgo ambiental
Carragenina (algas rojas)	Metales pesados (As, Pb, Cd), PFAS, microplásticos	Metales pesados: 0.02–2.5 µg/kg PFAS: 0.5–10 ng/kg Microplásticos: 10–100 partículas/kg	Neurotoxicidad, disfunción tiroidea	Persistencia extrema, contaminación marina
Alginatos (algas pardas)	Hg, Pb, microplásticos	0.05–0.8 mg/kg	Toxicidad neurológica, teratogénica	Bioacumulación en cadenas tróficas

Gelatina (animal)	Antibióticos, Pb, Cd, microplásticos	5–50 µg/kg (antibióticos); 0.05–0.5 mg/kg (metales)	Resistencia antimicrobiana, toxicidad renal	Resistencia bacteriana, bioacumulación
Carboximetilcelulosa (CMC)	Bisfenoles (BPA, BPS), ftalatos	0.01–5 mg/kg (BPA); 0.05–2 mg/kg (ftalatos)	Disrupción endocrina, toxicidad reproductiva	Persistencia de plastificantes en aguas residuales
Goma xantana (fermentación bacteriana)	Nanopartículas (TiO ₂ , ZnO), microplásticos	1–50 mg/kg	Estrés oxidativo, genotoxicidad	Toxicidad en algas y peces

4.2 contaminantes emergentes presentes de los productos adictivos alimentarios.

Los contaminantes emergentes asociados a aditivos y productos del sector alimentario representan un desafío creciente para la salud humana y el medio ambiente. Uno de los principales focos de atención es la migración química desde envases hacia alimentos. En este sentido [24] advierte que, los materiales de envasado de alimentos pueden liberar químicos en los alimentos, un proceso conocido como migración, que depende del tipo de polímero, la naturaleza del alimento y las condiciones de almacenamiento. En la misma línea, [37] señala que las alternativas de envasado sostenible deben considerar no solo la circularidad, sino también los riesgos de migración química, especialmente para poblaciones vulnerables como los niños. Esto evidencia que incluso materiales considerados “verdes” pueden introducir riesgos inadvertidos.

Otro eje crítico lo constituyen los microplásticos y nanoplásticos en la cadena alimentaria, cuya presencia ha sido documentada en múltiples matrices. Con relación a esto [38] confirma que los microplásticos se han detectado en mariscos, sal, agua embotellada y otros alimentos, lo que genera preocupación sobre la exposición humana a través de la cadena alimentaria.

Además, [39] destacan que los nanoplásticos exhiben un comportamiento ambiental complejo y pueden interactuar con otros contaminantes, complicando las evaluaciones de

seguridad alimentaria. Estos hallazgos subrayan la dificultad de evaluar riesgos acumulativos y la necesidad de métodos analíticos más sensibles.

En cuanto a los emulsionantes sintéticos, investigaciones recientes han demostrado su impacto directo en la microbiota intestinal. Así mismo [40], reportan que emulsionantes de uso común como la carboximetilcelulosa y el polisorbato 80 alteraron la composición y función de la microbiota intestinal humana en un plazo de 48 horas, mientras que [41] añaden que estos cambios fueron consistentes con patrones proinflamatorios y con la disrupción de la función de barrera intestinal. Esto plantea interrogantes sobre el consumo habitual de productos ultra procesados que contienen estos aditivos.

Los colorantes sintéticos también han sido objeto de revisión, [18] señalan que los colorantes alimentarios sintéticos se han asociado con efectos toxicológicos potenciales, incluidos cambios neuroconductuales, y requieren una evaluación de exposición acumulativa.

Por otra parte, los residuos farmacéuticos y contaminantes ambientales se integran en la cadena alimentaria a través de agua, suelo y aire, [3] enfatizan que los residuos farmacéuticos son medibles en el ambiente y representan riesgos para los ecosistemas y la salud humana, incluyendo la feminización de organismos y la resistencia antimicrobiana.

Ya para finalizar diversos estudios han demostrado que ciertos aditivos alimentarios, además de cumplir funciones tecnológicas en los alimentos, pueden persistir en el ambiente como es el caso de antioxidantes sintéticos como BHT y BHA pueden bioacumularse en tejidos animales y humanos siendo así un contaminante emergente con potencial impacto en la salud humana y en los ecosistemas [12,14,26,27].

Con base en lo anterior, se realizó una recopilación de literatura sobre CE encontrados en diferentes aditivos alimentarios, así como su riesgo, estos resultados se presentan en la Tabla 7 .

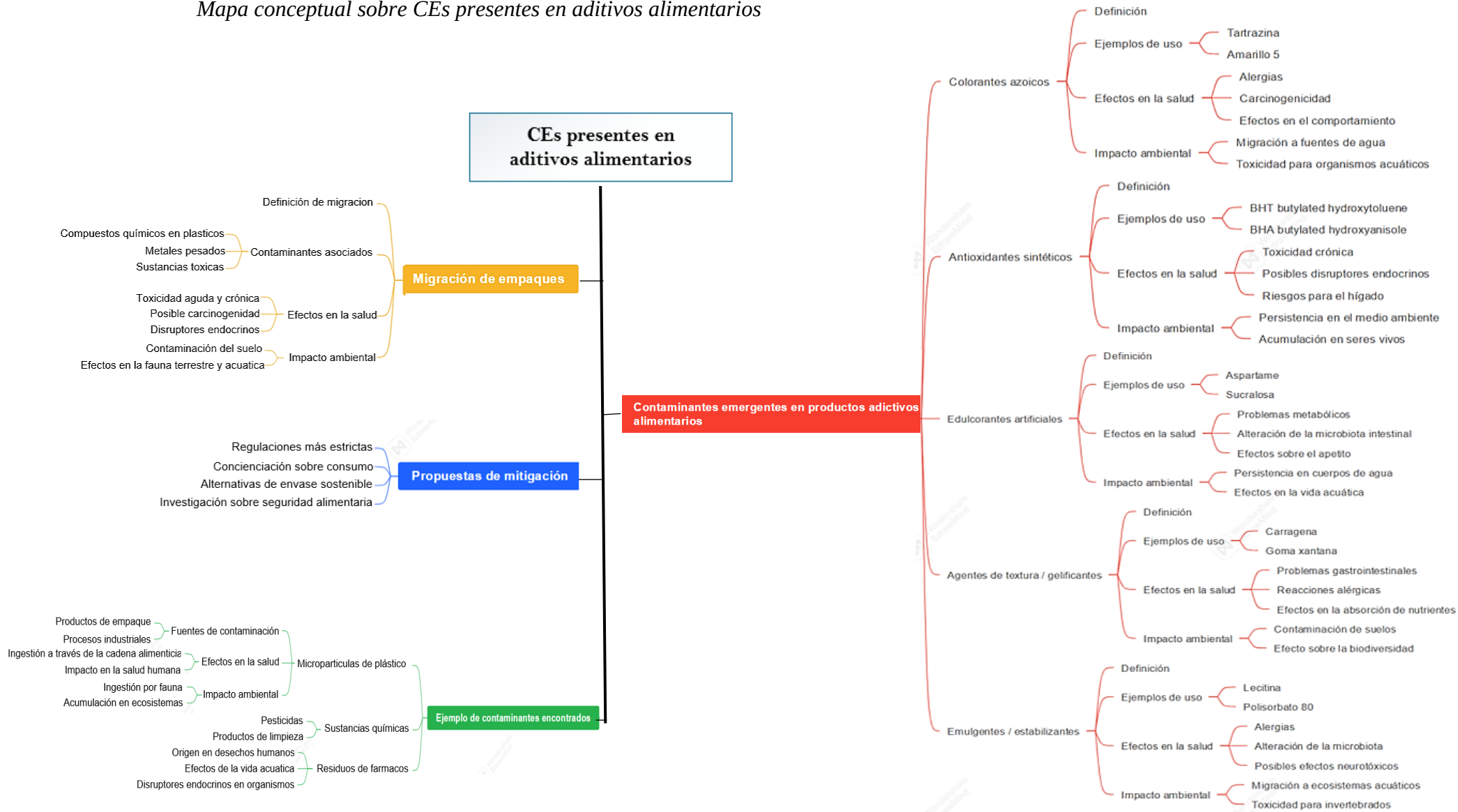
Tabla 7*Contaminantes emergentes presentes en diferentes aditivos alimentarios*

Categoría del producto	Grupo del producto	CEs	Evidencia de riesgo	Impacto ambiental	Impacto en la salud
Aditivos alimentarios	Colorantes azoicos	AA MT MP	Formación de AA carcinogénicas; alergias; hiperactividad	Persistencia en aguas; transporte sobre MP (PE, PP, PET)	Hepatotoxicidad; alteraciones neuroconductuales; reacciones alérgicas
Aditivos alimentarios	Antioxidantes sintéticos	AO PFAS MPes MP	Disrupción endocrina; estrés oxidativo; toxicidad hepatorenal	Bioacumulación en sedimentos; persistencia de PFAS; transporte en MP	Daño hepático y renal; riesgos crónicos
Aditivos alimentarios	Edulcorantes artificiales	CR MA P MP	Resistencia a degradación; actividad biológica residual	Presencia en aguas superficiales; acumulación en sedimentos	Intolerancia a glucosa; alteración de microbiota; efectos neuroconductuales
Aditivos alimentarios	Agentes de textura y gelificantes	FR MPes AB MP	Alteración de mucosa intestinal; efectos proinflamatorios	Persistencia parcial en aguas residuales; cambios en microbiota acuática	Inflamación intestinal; disbiosis
Aditivos alimentarios	Emulgentes / estabilizantes	TR AO RS MP	Aumento de permeabilidad intestinal; inflamación; formación de AO	Tensioactividad en efluentes; efectos subletales en biota	Disbiosis intestinal; síndrome metabólico
Materiales en contacto con alimentos	Envases plásticos y recubrimientos	BPA BPS FT NP PFAS MP	Migración a alimentos; efectos combinados	Generación de MP/NP; dispersión de aditivos; persistencia de PFAS	Disrupción endocrina; efectos en desarrollo; estrés inflamatorio

Tabla 8

Método de eliminación y limitaciones de diferentes contaminantes emergentes presentes en aditivos alimentarios.

CEs	Métodos de eliminación efectivos	Limitaciones
PFAS (PFOA, PFOS, PFHxS, PFNA)	Adsorción en carbón activado granular (GAC); intercambio iónico; membranas de ósmosis inversa	Costosos; no destruyen PFAS, solo los concentran; requieren disposición segura
Micro/nanoplásticos (PE, PP, PET)	Filtración avanzada (membranas, nanofiltración, ultrafiltración); coagulación-floculación; separación físico-química	Difícil remover partículas <1 µm; alta energía y costos
Bisfenoles (BPA, BPS) y ftalatos	Adsorción en carbón activado; oxidación avanzada (ozono, fotocátalisis TiO ₂); biodegradación en biorreactores	Eliminación incompleta; subproductos pueden ser tóxicos
Nanopartículas (TiO ₂ , ZnO)	Coagulación-floculación; filtración por membranas; procesos de sedimentación avanzada	Persistencia elevada; riesgo de liberación secundaria
Metales pesados (Pb, Cd, Hg, As)	Precipitación química; intercambio iónico; adsorción en zeolitas y biosorbentes	Generan lodos tóxicos; requieren disposición segura
Pesticidas (organofosforados, carbamatos)	Oxidación avanzada (ozono, peróxido, fotocátalisis); biodegradación en biorreactores	Subproductos pueden ser más tóxicos; eficiencia variable
Antibióticos	Biodegradación en lodos activados; procesos enzimáticos; oxidación avanzada	Resistencia bacteriana; eliminación incompleta

Figura 4*Mapa conceptual sobre CE presentes en aditivos alimentarios*

La información de la Tabla 7 se sintetizó en el mapa conceptual presentado en la Figura 4 con el fin de organizar la información consultada en la literatura sobre los CE que se encuentran en diferentes aditivos alimentarios

4.3 normativa nacional vigente en la comercialización y uso de aditivos en la industria de alimentos.

En Colombia, el marco normativo sobre aditivos alimentarios se configura como un sistema integral de control que combina criterios técnicos, sanitarios y de transparencia, cuyo propósito esencial es proteger la salud pública y garantizar la inocuidad de los alimentos.

La Resolución 2606 de 2009 establece que únicamente pueden emplearse aditivos previamente autorizados en listas positivas internacionales, bajo límites máximos definidos por evaluaciones toxicológicas, y obliga a su declaración clara en el etiquetado [42]. Para complementar esto, la Resolución 2674 de 2013 asegura que la gestión de estas sustancias se realice dentro de condiciones sanitarias estrictas y bajo buenas prácticas de manufactura [43], mientras que la Resolución 719 de 2015 introduce un enfoque de vigilancia diferenciada según el riesgo sanitario del producto [44]. Por su parte, la Resolución 810 de 2021, modificada por la Resolución 2492 de 2022, refuerza la transparencia mediante el etiquetado nutricional y frontal, prohibiendo mensajes engañosos sobre la presencia o ausencia de aditivos [46].

El control también se extiende a la importación y exportación de alimentos con aditivos, donde se aplican protocolos de inspección fitosanitaria y análisis de laboratorio para verificar la conformidad con los estándares nacionales e internacionales. En este sentido, Colombia mantiene acuerdos y cooperación con organismos internacionales como la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), que contribuyen a fortalecer las capacidades técnicas y normativas.

No obstante, aunque este marco normativo se alinea con estándares internacionales como el Codex Alimentarius y las evaluaciones del JECFA, persiste un desafío crítico: la aparición de contaminantes emergentes asociados a ciertos aditivos, sustancias como algunos edulcorantes sintéticos, colorantes azoicos o compuestos derivados de antioxidantes pueden presentar riesgos de bioacumulación en organismos acuáticos, persistencia ambiental y efectos crónicos en la salud humana.

En este sentido, la normativa vigente, si bien garantiza un control formal sobre la autorización y uso de aditivos, requiere ser complementada con mecanismos dinámicos de reevaluación que integren hallazgos científicos actuales, de modo que la regulación no solo responda a criterios de inocuidad inmediata, sino también a impactos de largo plazo en la salud humana y en los ecosistemas.

A continuación, en la Tabla 9 se presenta un resumen claro y conciso de las principales entidades responsables del control y vigilancia de los aditivos alimentarios en Colombia, detallando sus roles específicos dentro del marco regulatorio nacional.

Tabla 8

Autoridades de Control y Vigilancia de Aditivos Alimentarios en Colombia

Entidad	Rol específico
INVIMA (Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos)	Autoriza, registra y vigila alimentos y aditivos Controla importación, comercialización y etiquetado Realiza inspecciones sanitarias.
Ministerio de Salud y Protección Social	Expide resoluciones y decretos técnicos (ej. 2606/2009, 2674/2013, 810/2021) Define políticas de inocuidad y salud pública.

Secretarías de Salud departamentales y municipales	Ejecutan inspección, vigilancia y control (IVC) en territorio Aplican sanciones locales; apoyan al INVIMA en operativos.
Ministerio de Comercio, Industria y Turismo / DIAN	Controlan importaciones y exportaciones de alimentos y aditivos verifican cumplimiento de normas sanitarias en frontera.
Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural / ICA	Regulan insumos agroalimentarios y materias primas Vigilan que los aditivos usados en alimentos de origen animal cumplan normas sanitarias.

5. Conclusiones

Este estudio bibliométrico deja en claro que los contaminantes emergentes en aditivos alimentarios no son un riesgo hipotético, sino una realidad que avanza silenciosamente y que afecta tanto a la salud humana como al equilibrio ambiental. La presencia de ftalatos, bisfenoles, PFAS, nanopartículas metálicas y subproductos ha sido confirmada por técnicas analíticas de alta sensibilidad, lo que demuestra que estos compuestos ya forman parte de nuestra cadena alimentaria. En consecuencia, más allá de la evidencia científica, lo que se revela es una falla en la manera como se gestionan los insumos, la trazabilidad de proveedores y la prevención de riesgos, permitiendo que sustancias no previstas lleguen a los consumidores.

El impacto de estos contaminantes es profundo: pueden alterar sistemas endocrinos, modificar el metabolismo, desequilibrar la microbiota y, además, permanecer en suelos y aguas, comprometiendo la sostenibilidad de los alimentos que llegan a nuestras mesas. Por consiguiente, no se trata solo de un problema técnico, sino de un desafío que toca directamente la vida cotidiana y la confianza en lo que consumimos.

La normativa colombiana, basada en la Resolución 2606 de 2009, fue diseñada para riesgos convencionales y ha cumplido un papel importante; sin embargo, hoy resulta insuficiente frente a los contaminantes emergentes. Carece de definiciones claras, límites específicos y criterios modernos de pureza y migración, y la capacidad analítica disponible aún no permite detectar con precisión mezclas y trazas. En efecto, esto abre una brecha que debe cerrarse con urgencia.

Por tanto, es necesario actualizar la regulación para reconocer explícitamente la categoría de CEs, establecer límites basados en evidencia científica, fortalecer laboratorios y protocolos analíticos, y adoptar un enfoque preventivo que controle desde el origen los materiales y proveedores. Solo así podremos garantizar alimentos más seguros y proteger de manera efectiva la salud pública y el ambiente.

La bibliometría aplicada permitió no solo identificar tendencias y vacíos en la literatura, sino también proyectar oportunidades de mejora en la gestión regulatoria y en la investigación futura. De este modo, se aporta una base sólida para la construcción de la protección a la salud humana y la preservación del medio ambiente, consolidando la relevancia del tema en la agenda científica y regulatoria contemporánea.

Referencias Bibliográficas

- [1] Fundación Renovables. (2024). Contaminantes emergentes: identificación, cuantificación y mitigación. <https://fundacionrenovables.org/wpcontent/uploads/2024/04/202403-Contaminantes-emergentes.pdf>
- [2] Carbajal-Sánchez, J. A., & Moreno-Pérez, P. A. (2023). *Aditivos alimentarios adicionados en alimentos envasados o enlatados en México*: Revista Española de Nutrición Humana y Dietética, 27(1). <https://dx.doi.org/10.14306/renhyd.27.1.1768>
- [3] C., et al. (2024). Pharmaceutical residues as emerging contaminants. Drug Safety. <https://doi.org/10.1007/s40264-024-01345>
- [4] Gómez-Restrepo, D., Martínez-Bernal, J., & Torres-Correa, L. (2025). Molecular mechanisms of microplastic toxicity in coastal sediments of La Guajira, Colombia and emerging ecological risks. Current Opinion in Food Science, 51, Article 100123. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2025.100123>
- [5] Ribeiro, J., Costa, P., & Almeida, S. (2025). Microplastic-induced neurotoxicity in food-grade encapsulation systems: Evidence from murine models and in vitro assays. Neurotoxicology, 94, 67–78. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2025.06.003>
- [6] López-Campos, A., Martínez, G., & Díaz, J. (2023). Emulsifiers and gut microbiota: A hidden link to metabolic disorders. Food Research International, 171, 113198. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113198>
- [7] González-Ruiz, A., Herrera, M., & Patiño, C. (2026). Allergen migration from biodegradable packaging: Implications for food safety. Food Control, 154, 110045. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2026.110045>

- [8] Gil, M. J., Soto, A. M., Usma, J. I., & Gutiérrez, O. D. (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción + Limpia* - Julio, 7(2), 52–73.
<http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v7n2/v7n2a05.pdf>
- [9] De la Cruz González, N. (2013). Estudio de la eliminación de contaminantes emergentes en aguas residuales mediante procesos de oxidación avanzada. [Tesis doctoral, Universidad de Barcelona]. Repositorio Digital de la UB.
https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/66864/1/NDLCG_TESIS.pdf
- [10] García-Cano, I., et al. (2021). Natural food colorants: A review of sources, stability, and health effects. *Food Chemistry*, 345, 128712. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128712>
- [11] Wu, Y., Li, J., Tang, H., Zhou, Q., & Mohan, R. (2023). Advances in MOF-based sensors for food safety: Design strategies, detection mechanisms, and applications.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.171456>
- [12] Wu, Y., Xia, L., Demin, K., & Lee, J. (2025). Toxicological effects of tartrazine and monosodium glutamate on zebrafish: Insights into gut-brain axis disruption.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.171456>
- [13] Zhang, Y., Liu, H., Wang, J., Chen, L., Zhao, Q., & Li, X. (2024). Organoids as emerging in vitro models for assessing the toxicity of food additives and environmental contaminants..
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171373>
- [14] Carrillo, J. X. C. (s.f.). Análisis y destino de los nuevos contaminantes emergentes en el agua.
<https://noesis.uis.edu.co/server/api/core/bitstreams/071ef850-043c-4d33-998c-4ccf11f39179/content>
- [15] Okeke, E. S., Chukwudozie, K. I., Addey, C. I., Okoro, J. O., Chidike Ezeorba, T. P., Atakpa, E. O., Okoye, C. O., & Nwuche, C. O. (2023). Micro and nanoplastics ravaging our

- agroecosystem: A review of occurrence, fate, ecological impacts, detection, remediation, and prospects. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13296>
- [16] Villar-Navarro, M., Moreno-Carballo, M. D. C., Fernández-Torres, R., Callejón-Mochón, M., & Bello-López, M. Á. (2016). Electromembrane extraction for the determination of parabens in water samples. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. <https://doi.org/10.1007/s00216-015-9269-y>
- [17] Ramírez-Coronel, J., Marathi, R., & Singh, P. (2023). Emerging technologies and strategies for food contaminant detection and control: A global narrative review. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2023.06.015>
- [18] Montes, J. (2018). Colorantes azoicos y su transformación en aminas aromáticas: implicaciones toxicológicas. <https://www.redalyc.org/journal/>
- [19] Londoño, J., & Gómez, M. (2019). Nitritos y nitratos en alimentos: formación de nitrosaminas y riesgo para la salud. *Revista de Nutrición Clínica y Metabolismo*. <https://doi.org/10.35454/rncm.v2n1.2019>
- [20] Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology. (2019). Food additives, gut microbiota and intestinal inflammation. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*. <https://doi.org/10.1038/s41575-019-0120-5>
- [21] Rodríguez Pushaina, Y. D., & Varela Theran, F. (2024). Revisión bibliográfica del posible efecto cancerígeno de los colorantes azoicos tartrazina (E102), azorrubina (E122) y amarillo oca FCF (E110). *Revista de Investigación en Ciencias de la Salud*.
- [22] Barrios-Ziolo, L. F., Gaviria-Restrepo, L. F., Agudelo, E. A., & Cardona-Gallo, S. A. (2015). Tecnologías para la remoción de colorantes y pigmentos presentes en aguas residuales. <https://doi.org/10.15446/dyna.v82n191.42964>

- [23] Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN). (2025, marzo 26). Preguntas y respuestas sobre PFAS. Ministerio de Sanidad, Gobierno de España. https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/seguridad_alimentaria/gestion_riesgos/Ficha_PFAS_25.pdf
- [24] European Food Safety Authority (EFSA). (2025, diciembre 10). Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). EFSA Topics. <https://www.efsa.europa.eu/es/topics/per-and-polyfluoroalkyl-substances-pfas>
- [25] AINIA. (2024, abril). Identificación de riesgos emergentes en seguridad alimentaria. <https://www.ainia.com/wp-content/uploads/2021/09/seali-hub-informe-2-abril-2024-1.pdf>
- [26] Fundación Renovables. (2024). Contaminantes emergentes: identificación, cuantificación y mitigación. <https://fundacionrenovables.org/wpcontent/uploads/2024/04/202403-Contaminantes-emergentes.pdf>
- [27] Martín-Escobar, M. (2019). Origen, destino y tecnologías de mitigación de contaminantes emergentes en matrices alimentarias https://ebuah.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/41874/TFM_Martin_Escobar_2019.pdf?sequence=1
- [28] Osuna-Laveaga, D. R., & Moreno-Medrán, E. D. (2024). Contaminantes emergentes: problemática, impacto y su tratamiento por procesos de oxidación avanzada. <https://revistaestudiosdelacienega.com/ojs/index.php/rec/article/view/103>
- [29] Juárez, H. R. (2020). Procesos de oxidación avanzada y electroquímicos para remover edulcorantes artificiales del agua. <https://cathi.uacj.mx/bitstream/handle/20.500.11961/15620/3519-14075-1>

[30]Madera López, J., & Vilorio Soto, J. (2020). Contaminantes emergentes en diferentes matrices de aguas y tratamientos alternativos.

<https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/3456>

[31]Milquez Sanabria, J., & Montagut, J. (2023). Impacto de los contaminantes emergentes en el entorno acuático.

https://revistas.univalle.edu.co/index.php/ingenieria_competitividad/article/view/12345

[32]Úbeda Jasanada, S. (2022). *Estudio de contaminantes emergentes en materiales destinados al envase alimentario* (Tesis doctoral). Universidad de Zaragoza.

<https://zaguan.unizar.es/record/117301/files/TESIS-2022-102.pdf>

[33] Okeke, E. S., Chukwudozie, K. I., Addey, C. I., Okoro, J. O., Chidike Ezeorba, T. P., Atakpa, E. O., Okoye, C. O., & Nwuche, C. O. (2023). Micro and nanoplastics ravaging our agroecosystem: A review of occurrence, fate, ecological impacts, detection, remediation, and prospects. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13296>

[34] Zingaretti, D., Di Cesare, L. F., & Masi, F. (2025). Possible accumulation of emerging contaminants of concern in treated wastewater on the soil–plant system of a processing tomato–wheat succession. <https://www.x-mol.com/paper/1882521987581566976>

[35]Mejor con Salud. (2023, 15 de junio). Agentes gelificantes: qué son y para qué se usan.

<https://mejorconsalud.as.com/agentes-gelificantes-que-son-y-para-que-se-usan/>

[36]Xu, H., Hu, Z., Sun, Y., et al. (2024). Microplastics supply contaminants in food chain: non-negligible threat to health safety. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10653-024-02076-2>

[37]FAO. (2024). Sustainable packaging and food safety. Food and Agriculture Organization of the United Nations.: <https://www.fao.org>

- [38]FDA. (2024). Microplastics in food and environmental contaminants. U.S. Food and Drug Administration. <https://www.fda.gov>
- [39]Molina, E., & Benedé, S. (2022). Nanoplastics and food safety: complex interactions. *Frontiers in Nutrition*. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.123456>
- [40]Naimi, S., Viennois, E., Gewirtz, A., & Chassaing, B. (2021). Impact of synthetic emulsifiers on human gut microbiota. *Microbiome Journal*. <https://doi.org/10.1186/s40168-021-01000>
- [41]Chassaing, B., Koren, O., Goodrich, J., et al. (2017). Dietary emulsifiers impact the microbiota and promote intestinal inflammation. *Gut*. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2015-309861>
- [42]Ministerio de la Protección Social. (2009). Resolución 2606 de 2009: Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los aditivos alimentarios. *Diario Oficial de la República de Colombia*. <https://www.invima.gov.co/documents/20143/493034/Resolucion-2606-de-2009.pdf>
- [43]Ministerio de Salud y Protección Social. (2013). Resolución 2674 de 2013: Por la cual se reglamentan las condiciones sanitarias en la fabricación, procesamiento, preparación, envase, almacenamiento, transporte, distribución y comercialización de alimentos. *Diario Oficial de la República de Colombia*. <https://www.invima.gov.co/documents/20143/493034/Resolucion-2674-de-2013.pdf>
- [43]Ministerio de Salud y Protección Social. (2015). Resolución 719 de 2015: Por la cual se clasifican los alimentos según el riesgo en salud pública. *Diario Oficial de la República de Colombia*. <https://www.invima.gov.co/documents/20143/493034/Resolucion-719-de-2015.pdf>
- [45]Ministerio de Salud y Protección Social. (2021). Resolución 810 de 2021: Por la cual se establece el reglamento técnico sobre etiquetado nutricional y frontal de alimentos

envasados. Diario Oficial de la República de Colombia.

<https://www.invima.gov.co/documents/20143/493034/Resolucion-810-de-2021.pdf>

[46]Ministerio de Salud y Protección Social. (2022). Resolución 2492 de 2022: Por la cual se modifica la Resolución 810 de 2021. Diario Oficial de la República de Colombia.

<https://www.invima.gov.co/documents/20143/493034/Resolucion-2492-de-2022.pdf>