

**Metodología de evaluación del impacto ambiental de aceites esenciales como posibles
desinfectantes en ambientes intrahospitalarios**

Nicole Michelle Ortiz Góngora

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniera Ambiental

Directora

Yurley Paola Villabona Durán

Magíster en Ingeniería Química

Codirectora

Martha Cervantes Díaz

Magíster en Química

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Facultad de Ingeniería Ambiental

2025

Contenido

Introducción	9
1. Metodología de evaluación del impacto ambiental de aceites esenciales como posibles desinfectantes en ambientes intrahospitalarios	11
1.1 Planteamiento del problema	11
1.2 Justificación	13
1.3 Objetivos	14
1.3.1 Objetivo general	14
1.3.2 Objetivos específicos	14
2. Marco referencial	15
2.1 Marco teórico	15
2.1.1 Métodos	15
2.1.2 Metodologías para la evaluación del impacto ambiental	20
2.1.3 Evaluación del Riesgo Ambiental (ERA)	20
2.2 Marco conceptual	21
2.2.1 Aceites esenciales	21
2.2.2 Desinfección	21
2.3 Marco legal	22
2.4 Estado del arte	24
2.4.1 Antecedentes internacionales de metodologías de evaluación de impacto ambiental ..	24
2.4.2 Antecedentes nacionales de metodologías de evaluación de impacto ambiental	25
3. Método	27

3.1 Etapa 1 - Análisis bibliométrico sobre metodologías actuales y emergentes de evaluación de impacto ambiental	27
3.1.1 Definición de la ecuación de búsqueda	27
3.1.2 Análisis comparativo de la información	28
3.2 Etapa 2 - Establecimiento de una metodología integrada para la evaluación del impacto ambiental de aceites esenciales como desinfectantes.....	28
3.3 Etapa 3 – Validación de la metodología propuesta por medio de expertos (Método Delphi)	28
4. Resultados y discusión.....	29
4.1 Etapa 1 - Análisis bibliométrico sobre metodologías actuales y emergentes de evaluación de impacto ambiental	29
4.2 Etapa 2 – Establecimiento de una metodología integrada para la evaluación del impacto ambiental de aceites esenciales como desinfectantes.....	43
4.2.1 Paso 1: Aplicación del método de clasificación y puntuación química (CRS) modificado	44
4.2.2 Paso 2: análisis de ciclo de vida (LCA).....	46
4.2.3 Paso 3: evaluación del riesgo ambiental (ERA)	47
4.2.4 Paso 4: análisis de impacto	49
4.3 Etapa 3 – Validación de la metodología propuesta por medio de expertos (Método Delphi)	52
5. Conclusiones.....	56
Referencias.....	58

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Escala de valor para los parámetros de la Matriz Conesa</i>	18
Tabla 2. <i>Escala de clasificación de la importancia del impacto (I)</i>	18
Tabla 3. <i>Escala de valor para los criterios de la matriz EPM</i>	19
Tabla 4. <i>Escala de clasificación de la importancia ambiental (Ca)</i>	20
Tabla 5. <i>Normativa colombiana sobre la evaluación del impacto ambiental</i>	22
Tabla 6. <i>Documentos sobre las metodologías de evaluación de impacto ambiental obtenidos a través de la ecuación de búsqueda</i>	33
Tabla 7. <i>Sistema de puntuación del índice de exposición</i>	44
Tabla 8. <i>Sistema de puntuación del índice de toxicidad</i>	45
Tabla 9. <i>Información recopilada sobre los expertos y sus opiniones respecto a la metodología de evaluación de impacto ambiental propuesta</i>	53

Lista de figuras

Figura 1. <i>Publicaciones de documentos registrados en los últimos 10 años sobre la evaluación del impacto ambiental de desinfectantes</i>	30
Figura 2. <i>Los 5 países con mayor número de documentos publicados en los últimos 10 años sobre la evaluación del impacto ambiental de desinfectantes.....</i>	31
Figura 3. <i>Mapa de palabras clave relacionadas con la evaluación del impacto ambiental de desinfectantes</i>	32
Figura 4. <i>Diagrama tipo logaritmo de la metodología de evaluación de impacto ambiental propuesta.....</i>	52

Glosario

Aceite esencial: mezcla compleja de sustancias responsables del aroma de las plantas, usados en diferentes industrias (Martínez, 2020).

Análisis bibliométrico: metodología de revisión científica que permite cuantificar en la literatura, las investigaciones o autores principales relacionados con un campo determinado (Han, et al., 2020).

Biocida: agente químico, generalmente de amplio espectro que inhibe o elimina microorganismos (White y McDermott, 2001).

Componentes mayoritarios: corresponde a la clasificación de los aceites esenciales según su naturaleza química (Martínez, 2020).

Desinfectante: agente químico o físico que permite la eliminación de microorganismos de la superficie y el aire (Sindeev y Borda, 2019).

Estudio de impacto ambiental: instrumento que contribuye a la toma de decisiones sobre proyectos, obras o actividades (Pinilla, 2017).

Evaluación de impacto ambiental: proceso que permite identificar, prevenir e interpretar impactos ambientales generados en la realización de un proyecto (Vanegas y Reyes, 2016).

Impacto ambiental: efecto que produce una acción humana o evento natural sobre el medio ambiente (Pinilla, 2017).

Nanoemulsiones: sistemas compuestos por una fase acuosa, oleosa y un compuesto anfifílico (Penagos, 2018).

Resumen

El presente proyecto tuvo como objetivo el establecimiento de una metodología de evaluación de impacto ambiental de aceites esenciales como desinfectantes en ambientes intrahospitalarios. El proceso metodológico constó de una primera etapa donde se realizó un análisis bibliométrico en la base de datos de Scopus que permitió identificar la evaluación del riesgo ambiental (ERA), evaluación de peligros ecotoxicológicos y destino ambiental, clasificación y puntuación química (CRS), análisis de ciclo de vida (LCA) y evaluación del riesgo como metodologías actuales y emergentes para sustancias químicas.

En una segunda etapa, se propuso la metodología integrada para la evaluación del impacto ambiental del uso de aceites esenciales como desinfectantes a partir de la aplicación del método de clasificación y puntuación química (CRS) modificado, el análisis de ciclo de vida (LCA) y la evaluación del riesgo ambiental (ERA).

En una tercera etapa, se efectuó la respectiva socialización de la metodología propuesta y se aplicó una encuesta al panel de expertos seleccionado, donde cuatro de los cinco miembros indicaron que dicha metodología propuesta era pertinente y cumplía a satisfacción con lo que se proponía evaluar. No obstante, se sugirió añadir instrucciones más detalladas, efectuar un registro del tiempo de toma de datos, verificar la aplicabilidad de las bases de datos al proyecto de acuerdo con los compuestos químicos del desinfectante, definir una unidad funcional representativa para el LCA, identificar aspectos ambientales y aplicar una matriz de evaluación ambiental que se ajuste a las necesidades del proyecto.

Palabras clave: aceite esencial, desinfectante, evaluación, impacto ambiental, metodología

Abstract

The objective of this project was to establish a methodology for the environmental impact assessment of essential oils as disinfectants in hospital environments. The methodological process consisted of a first stage where a bibliometric analysis was carried out in the Scopus database, this allowed the identification of the environmental risk assessment (ERA), assessment of ecotoxicological hazards and environmental fate, chemical ranking and scoring method (CRS), life cycle analysis (LCA) and risk assessment as current and emerging impact assessment methodologies.

In a second stage, the integrated methodology for the assessment of the environmental impact of the use of essential oils as disinfectants was proposed based on the application of the modified chemical ranking and scoring method (CRS), life cycle analysis (LCA) and environmental risk assessment (ERA).

In a third stage, the respective socialization of the proposed methodology was executed, and a survey was applied to the selected panel of experts, where four out of the five members indicated that the proposed methodology was pertinent and accomplished its purpose with satisfaction. However, it was suggested to add more detailed instructions, keep a record of the data collection time, verify the applicability of the databases to the project according to the chemical compounds of the disinfectant, define a representative functional unit for the LCA, identify the environmental aspects and apply an environmental assessment matrix that fits the needs of the project.

Keywords: essential oil, disinfectant, assessment, environmental impact, methodology

Introducción

Los aceites esenciales son líquidos hidrofóbicos concentrados con un contenido de compuestos químicos volátiles provenientes de las hojas, cortezas, semillas, flores y frutos de las plantas (Ansah, et al., 2019), cuya función principal es aportarles aroma y sabor, al igual que atraer a polinizadores y repeler plagas (Zukowska y Durczynska, 2024). Se conoce que los aceites esenciales son producidos por más de 17.500 especies de plantas de diversas familias de angiospermas, pero sólo alrededor de 300 de ellas son comercializadas (Winska, et al., 2019). Se ha demostrado que tienen efectos antimicrobianos al ser capaces de destruir eficazmente patógenos bacterianos, fúngicos y virales (Swamy, et al., 2016). Además, poseen propiedades antiinflamatorias, analgésicas y antioxidantes (Pezantes-Orellana, et al., 2024).

Sin embargo, existe una debilidad a nivel investigativo sobre este tema debido a que el contenido científico tiene poca o ninguna fundamentación sobre los componentes químicos activos y mecanismos de eficacia, causando desafíos y dificultades en el desarrollo productos (Gu, 2024). De igual forma, aunque los desinfectantes controlan, previenen y destruyen microorganismos patógenos (CFSPH, 2023), cuando estos son a base de aceites esenciales, causan un impacto al medio ambiente en su mayoría desconocido (Ferraz, et al. 2022).

Por lo que, en el presente documento se planteó el establecimiento de una metodología de evaluación del impacto ambiental del uso de aceites esenciales, componentes mayoritarios y nanoemulsiones como posibles desinfectantes en ambientes intrahospitalarios en el marco del proyecto titulado “Bioprospección de Nanoemulsiones basadas en Aceites Esenciales del Género *Cymbopogon* Frente a Microorganismos Transmitidos en Ambientes Intrahospitalarios. Fase II”.

Como resultado principal, fue viable establecer una metodología para la evaluación del impacto ambiental de desinfectantes a base de aceites esenciales a partir de metodologías

existentes, donde se definieron los siguientes cuatro pasos: La aplicación del método de Clasificación y Puntuación Química (CRS), el Análisis de Ciclo de Vida (LCA), la Evaluación del Riesgo Ambiental (ERA) y el Análisis de impacto.

1. Metodología de evaluación del impacto ambiental de aceites esenciales como posibles desinfectantes en ambientes intrahospitalarios

1.1 Planteamiento del problema

La desinfección como parte integral de la prestación de servicios de atención sanitaria en ambientes intrahospitalarios (Homyer y Mehendale, 2023), requiere del uso de desinfectantes a base de diversos compuestos químicos cuyo fin es eliminar e inactivar los riesgos de infección por patógenos (Yemis y Harmanci, 2020). Sin embargo, dichos compuestos pueden ser tóxicos y afectar la calidad del agua, como es el caso del cloro, detectado en vertimientos de agua residual hospitalaria y cuyos subproductos generados por la reacción con sustancias orgánicas tienen efectos mutagénicos, cancerígenos y teratogénicos, causados por trihalometanos, ácidos haloacéticos y nitrosaminas, los cuales representan una grave amenaza para los ecosistemas (Dang, et al., 2023).

Asimismo, se conoce que los desinfectantes causan efectos citotóxicos y genotóxicos en peces y algas cuando son a base de cloro (Homyer y Mehendale, 2023), producen bioacumulación de compuestos químicos en peces como la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) cuando son a base de amonio cuaternario, generan daños en las branquias e hígado de la carpa común (*Cyprinus carpio*) cuando son a base de povidona yodada, ocasionando a su vez, deterioro a las poblaciones de algas por su toxicidad (Cruz, et al., 2021). Además, para agentes desinfectantes a base de peróxido de hidrógeno, se han identificado datos de toxicidad a corto plazo para peces, invertebrados (mejillón cebra) y algas del medio acuático (Ghafoor, et al., 2021).

Si bien el uso de desinfectantes químicos a base de cloro, hipoclorito de sodio, etanol, isopropanol, peróxido de hidrógeno, amonio cuaternario, formaldehídos, glutaraldehídos y yodóforos ha venido en aumento, esto se debe a que incluso después de la pandemia del COVID-

19, los profesionales de salud recomiendan su aplicación (Ghafoor, et al., 2021). Por lo que se ha contribuido a la formación de una cantidad significativa de subproductos de desinfección en el aire (Lou, et al., 2021).

Según Romanello, et al. (2022), el sector de la salud es el responsable del 5,2% de todas las emisiones globales de gases de efecto invernadero, contribuyendo al cambio climático (Romanello, et al., 2022). Este representa un desafío crítico para la salud global al influir en factores sociales y ambientales como la vivienda, calidad del aire, agua y la seguridad alimentaria (Vallé, 2024). Entre las consecuencias del cambio climático están: el aumento de la temperatura en el planeta, derretimiento de glaciares, incremento en los niveles del mar, incendios más frecuentes, deforestación, sequías, acidificación de los océanos, alteraciones a los ecosistemas, pérdida del hábitat de diferentes especies, entre otros (Heshmati, 2020).

Aunque existen estudios sobre los posibles efectos tóxicos de los aceites esenciales, Ferraz, et al. (2022) señala que un 76,5% de estas investigaciones se enfoca en impactos en ambientes acuáticos y sólo el 23,5% en ecosistemas terrestres, resaltando la necesidad de realizar una mayor cantidad de trabajos investigativos para evaluar su seguridad en el ecosistema (Ferraz, et al., 2022). Por esta razón, surge la necesidad de establecer marcos y regulaciones nacionales e internacionales para el uso de aceites esenciales y sus componentes activos antes de ser usados en diferentes campos (Yammine, et al., 2022). Adicionalmente, se desconocen los impactos ambientales de los aceites esenciales como desinfectantes en ambientes intrahospitalarios, dado a que con la ecuación de búsqueda planteada en la consulta de información no se evidenciaron.

Conforme a lo descrito anteriormente, la presente investigación plantea la siguiente pregunta problematizadora: ¿Es viable establecer una metodología para la evaluación del impacto ambiental de desinfectantes a base de aceites esenciales a partir de metodologías existentes?

1.2 Justificación

Durante siglos, los aceites esenciales han sido usados por sus propiedades biológicas y en la actualidad, tienen una gran cantidad de aplicaciones en la industria alimenticia, agrícola, farmacéutica, cosmética y textil (Ferraz, et al. 2022). En la industria farmacéutica, los aceites esenciales han surgido como alternativas naturales para antimicrobianos sintéticos por ser respetuosos con el ambiente, biodegradables en productos que no representan toxicidad y eficaces en la eliminación de microorganismos (Yammine, et al., 2022). Las ventajas de su uso como desinfectantes alternativos incluyen su potencial para la aplicación en superficies porosas que pueden no ser alcanzadas efectivamente por desinfectantes químicos tradicionales y afectar a los microorganismos en diferentes etapas de su ciclo de vida por su capacidad de ser combinados en mezclas de compuestos de diferente naturaleza química y concentración (Bailey, et al., 2021).

No obstante, aunque su uso está ampliamente difundido a través de una variedad de industrias, recientemente ha surgido en la comunidad científica la necesidad de identificar los posibles efectos tóxicos de los aceites esenciales en los organismos de diferentes niveles tróficos, ya que estos son en su mayoría desconocidos (Ferraz, et al., 2022).

Por ende, es necesario aplicar metodologías para la evaluación del impacto ambiental que permitan conocer la situación ambiental actual, evaluar el cambio en el desarrollo de las actividades humanas, pronosticar las tendencias a futuro y proponer medidas de prevención, corrección o mitigación (Perevochtchikova, 2012). Conforme con lo establecido por Vilorio, et al. (2018), se considera que lo más acertado es la combinación de métodos para la adaptación de metodologías, dado a que no existe una estandarización y esto contribuiría a la evitación de tendencias de subjetividad y una menor calidad de información.

El presente proyecto tuvo como propósito establecer una metodología de evaluación de impacto ambiental para el uso de aceites esenciales como posibles desinfectantes en ambientes intrahospitalarios como una referencia útil para conocer los beneficios de su aplicación con respecto a desinfectantes tradicionales.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Establecer una metodología para evaluar el impacto ambiental del uso de aceites esenciales, componentes mayoritarios y nanoemulsiones como posibles desinfectantes en ambientes intrahospitalarios.

1.3.2 Objetivos específicos

Realizar un análisis bibliométrico que permita la recopilación de información sobre metodologías actuales y emergentes para la evaluación del impacto ambiental de las sustancias químicas presentes en desinfectantes.

Establecer una metodología integrada para la evaluación del impacto ambiental de aceites esenciales como desinfectantes a partir de otras metodologías existentes.

Validar la metodología planteada por medio de expertos (Método Delphi) a partir de la socialización de los resultados obtenidos.

2. Marco referencial

2.1 Marco teórico

2.1.1 Métodos

Un método hace referencia a las técnicas y procedimientos específicos utilizados en un enfoque o metodología en particular (Martins, 2024). A nivel ambiental, pueden clasificarse en:

2.1.1.1 Métodos de identificación de alternativas ambientales. Son aquellos que involucran el trabajo de técnicos o la participación pública (Garmendia, et al., 2005). Un ejemplo de este tipo de método corresponde a los sistemas cartográficos donde se usan mapas para identificar y evaluar la magnitud de los impactos ambientales (Conesa, 2010).

2.1.1.2 Métodos para ponderar factores ambientales. Se identifica principalmente el siguiente el método Delphi el cual es aplicado para consultar a expertos de otros campos científicos los indicadores, factores, acciones u otros aspectos relacionados con la evaluación de impacto ambiental para llegar a un consenso (Garmendia, et al., 2005).

2.1.1.3 Métodos para identificar impactos ambientales. Los impactos ambientales pueden determinarse mediante listas de chequeo que relacionan las posibles consecuencias de una acción específica mediante una lista ordenada de factores ambientales, incluyendo información sobre los impactos al suelo, agua, atmósfera, flora, fauna, recursos, recreación, culturales, entre otros elementos del ambiente que sean de interés (Espinoza, 2002). Asimismo, los sistemas de interacciones o redes evidencian los impactos directos e indirectos que causan las acciones

ejecutadas por un proyecto sobre los componentes y factores ambientales, plasmando los efectos correlacionados y acumulativos que contribuyen a identificar medidas para mitigar los impactos ambientales. Se recomienda que su diseño sea para acciones específicas y así evitar confusiones durante su interpretación (Conesa, 2010).

En el Método de Clasificación y Puntuación Química (CRS), se catalogan los productos químicos en función de sus efectos de exposición a la toxicidad. Existe una versión coreana del método cuyo objetivo es seleccionar los productos químicos de alta prioridad teniendo en cuenta los efectos ecológicos y de salud de un producto químico determinado (Shin, et al., 2014).

2.1.1.4 Métodos para evaluar impactos ambientales. Se clasifican como matrices causa-efecto cuyo objetivo es evaluar de forma preliminar y cualitativa las alternativas de un proyecto (Conesa, 2010). Se componen de un listado que relaciona en un diagrama matricial las acciones humanas y los indicadores de impacto ambiental (Espinoza, 2002). Algunos ejemplos de este tipo de matrices son:

La matriz de Leopold, propuesta en 1971 por el Servicio Geológico de Estados Unidos, se basa en una matriz con columnas con un total de 100 acciones y filas con 88 factores ambientales, donde hay cuadrículas de cruce divididas con una diagonal que marca en la parte superior la magnitud del impacto y en la parte inferior la importancia, ambas con una escala de 0 a 10. Al sumar las filas se obtiene el impacto generado sobre un determinado factor ambiental y al sumar las columnas se obtiene el impacto causado por una acción (Garmendía, et al., 2005).

La matriz de Clark permite evaluar de forma cualitativa los impactos ambientales en un proyecto según seis atributos correspondientes a la naturaleza (beneficioso o positivo / adverso o negativo), extensión (total o estratégico / local o puntual), manifestación (largo plazo / corto plazo),

periodicidad (discontinuo / continuo), relación causa – efecto (directo / indirecto) y recuperación (irreversible / reversible). Por lo que se describen los efectos de las acciones que hacen parte de las fases de un proyecto (Conesa, 2010).

En el Método Del Departamento de Desarrollo y Planificación Regional del Estado de Nueva York (CNYRPAB) se usan dos matrices, la primera relaciona los factores ambientales con las acciones que pueden causar un impacto directo, asignando un número de orden y la segunda identifica los impactos indirectos al interrelacionar los impactos calificados (Conesa, 2010).

Por su parte, en el método de Moore se implementan dos listas en las que sus filas incluyen actividades que implican acciones que puedan causar un impacto, de acuerdo con cada una de las fases del proyecto. En las columnas se identifican los componentes y factores ambientales que pueden ser impactados por dichas acciones. De acuerdo con la información, se convierten los datos cualitativos a cuantitativos al asignar un número a la magnitud de los impactos de la siguiente manera: leve (1), moderado (2), alto (3) o no significativo (0) (Conesa, 2010).

En el método de Vicente Conesa Fernández – Vítora, desarrollado en 1997 se busca evaluar el impacto ambiental mediante datos numéricos y cálculos matemáticos haciendo uso de una matriz (Hidroar S.A., 2013). Este es considerado un método ad hoc porque se basa en la adaptación de uno o más métodos (Conesa, 2010). Hidroar S.A. (2013) señala que para el cálculo de la importancia del impacto (I) se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$I = \pm(3i + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC) \quad (1)$$

Donde sus parámetros y escala de clasificación se evidencian en la Tabla 1 y 2 respectivamente:

Tabla 1. *Escala de valor para los parámetros de la Matriz Conesa*

Parámetro	Nomenclatura	Clasificación	Valor
Naturaleza del impacto	Naturaleza	Impacto beneficioso	1
		Impacto perjudicial	-1
Intensidad o grado probable de destrucción	i	Baja	1
		Total	12
Extensión o área de influencia del impacto	EX	Puntual	1
		Parcial	2
		Extenso	4
		Total	8
		Crítica	12
Momento o tiempo entre la acción y aparición del impacto	MO	Largo plazo	1
		Mediano plazo	2
		Inmediato	4
		Crítico	8
Persistencia o permanencia del efecto provocado por el impacto	PE	Fugaz	1
		Temporal	2
		Permanente	4
Reversibilidad	RV	Corto plazo	1
		Mediano plazo	2
		Irreversible	4
Sinergia o reforzamiento de dos o más efectos simples	SI	Sin sinergismo	1
		Sinérgico	2
		Muy sinérgico	4
Acumulación o efecto de incremento progresivo	AC	Simple	1
		Acumulativo	4
Efecto de la acción sobre el factor ambiental	EF	Indirecto	1
		Directo	4
Periodicidad de la manifestación del efecto	PR	Irregular	1
		Periódico	2
		Continuo	4
Recuperabilidad o grado posible de reconstrucción por medios humanos	MC	Recuperabilidad inmediata	1
		Recuperable	2
		Mitigable	4
		Irrecuperable	8

Adaptado de Hidroar S.A. (2013).

Tabla 2. *Escala de clasificación de la importancia del impacto (I)*

Escala numérica	Clasificación de la importancia del impacto (I)
< 25	Compatible
25 a 50	Moderado
>50 a 75	Severo
>75	Crítico

Adaptado de Hidroar S.A. (2013).

En la matriz EPM (Arboleda) se asigna un valor de importancia ambiental (Ca) a cada impacto ambiental posible en la ejecución de un proyecto en todas sus etapas (Martínez, 2022).

Martínez (2022) indica que la importancia ambiental se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Ca = C(P(a * E * M + b * D)) \quad (2)$$

Donde sus criterios y escala de clasificación se evidencian en la Tabla 3 y 4 respectivamente:

Tabla 3. Escala de valor para los criterios de la matriz EPM

Criterio	Nomenclatura	Rango	Valor
Clase	C	Beneficioso	+
		Perjudicial	-
Presencia	P	Cierta	1
		Muy probable	0,7<0,99
		Probable	0,3<0,69
		Poco probable	0,1<0,29
		Muy poco probable	0<0,09
Evolución	E	Muy rápida	0,8<1,0
		Rápida	0,6<0,79
		Media	0,4<0,59
		Lenta	0,2<0,39
		Muy lenta	0<0,19
Magnitud	M	Muy alta	0,8<1,0
		Alta	0,6<0,79
		Media	0,4<0,59
		Baja	0,2<0,39
		Muy baja	0<0,19
Duración	D	Permanente	1
		Larga	0,7<0,99
		Media	0,3<0,69
		Corta	0,1<0,29
		Muy corta	0<0,09
Constante de ponderación	a	-	7,0
	b	-	3,0

Adaptado de Martínez (2022).

Tabla 4. *Escala de clasificación de la importancia ambiental (Ca)*

Valor de la calificación ambiental (Ca)	Importancia ambiental
8-10	Muy alta
6-7,9	Alta
4-5,9	Media
2-3,9	Baja
0-1,9	Muy baja

Adaptado de Martínez (2022).

2.1.2 Metodologías para la evaluación del impacto ambiental

Permiten identificar, predecir y valorar las alteraciones de una acción, reconociendo variables y/o procesos (químicos, físicos, biológicos, culturales, socioeconómicos y paisajísticos) que pueden ser afectados de forma significativa (Espinoza, 2002). Una de las metodologías más destacadas es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) o Life Cycle Assessment (LCA) y permite la recopilación y evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de un producto. Se compone de cuatro fases principales: La definición del objetivo y alcance, el análisis del inventario, la evaluación del impacto y la interpretación (ICONTEC, 2007).

2.1.3 Evaluación del Riesgo Ambiental (ERA)

Es un enfoque que evalúa la probabilidad de que ocurran efectos ecológicos adversos como el resultado de la exposición de organismos y comunidades a compuestos químicos (Di Lorenzo, et al., 2023). La ERA complementa los métodos usados en la evaluación del impacto ambiental (EIA) mediante la identificación, análisis y presentación de información en términos de riesgos para fundamentar procesos de planificación y toma de decisiones (Ministerio de Medio Ambiente, Tierras y Parques, 2000).

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Aceites esenciales

Son compuestos de diferente naturaleza química responsables del aroma, sabor y propiedades biológicas de las plantas (Zukowska y Durczynska, 2024). Se obtienen de hojas, tallos, raíces, flores, frutos y semillas por medio del prensado, destilación por arrastre con vapor, hidrodestilación, destilación con agua y vapor, destilación en corriente de vapor (Casado, 2018) e hidrodestilación asistida por microondas (Guarín y Barajas, 2015).

Son usados comúnmente para la fabricación de perfumes, aromatizantes, saborizantes, condimentos y antioxidantes en la industria cosmética, de alimentos y farmacéutica, respectivamente (Martínez, 2020).

2.2.2 Desinfección

Es un proceso que implica la eliminación de microorganismos de formas vegetativas por medio de agentes químicos o físicos mediante la alteración de su estructura o metabolismo, impidiendo su transmisión (Sindeev y Borda, 2019).

2.2.2.1 Clasificación de los desinfectantes. Se cataloga por aspectos como:

2.2.2.1.1 Basado en su consistencia. Pueden ser líquidos (alcoholes, fenoles, etc.) o gaseosos (formaldehído como vapor, EtO o esterilización por óxido de etileno, etc.) (Yemis y Harmanci, 2020).

2.2.2.1.2 Basado en el mecanismo de acción. Con acción sobre la membrana, desnaturalización de proteínas celulares, alquilación de amino-, carboxilo- y grupo hidroxilo,

oxidación de grupos de sulfhidrilo esenciales de enzimas y aquellos que generan daños a ácidos nucleicos (Yemis y Harmanci, 2020).

2.3 Marco legal

En la Tabla 5 se evidencia la normativa colombiana identificada y se describe su relación con el proceso de evaluación de impacto ambiental.

Tabla 5. *Normativa colombiana sobre la evaluación del impacto ambiental*

Normativa	Año	Título	Descripción
			El Artículo 5 sobre las funciones del ministerio indica que se debe “Contratar, cuando sea necesario para el cumplimiento de sus funciones, la elaboración de estudios de investigación y de seguimiento de procesos ecológicos y ambientales y la evaluación de estudios de impacto ambiental” (Función pública, 1993).
Ley 99	1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones (Función pública, 1993).	En el Artículo 53 de la facultad de las corporaciones autónomas regionales (CARs) para otorgar licencias ambientales, es el gobierno quien establece los casos donde las CAR requieran de estudios de impacto ambiental (Función pública, 1993). En el Artículo 56 del diagnóstico ambiental de alternativas se menciona que, con base en el diagnóstico ambiental de alternativas presentado la autoridad elegirá en un plazo no mayor a 30 días la alternativa sobre la que se debe elaborar el estudio de impacto ambiental (Función pública, 1993). El Artículo 57 del estudio de impacto ambiental establece que este debe contener información sobre la localización del proyecto, elementos bióticos, abióticos y socioeconómicos que puedan sufrir deterioro, donde se pide la licencia y evaluación de impactos para su ejecución (Función pública, 1993). En el Artículo 58 del procedimiento para el otorgamiento de licencias ambientales se indica

Normativa	Año	Título	Descripción
			que quien se encuentre interesado en obtener una licencia ambiental, debe presentar ante la autoridad ambiental competente la solicitud y el estudio de impacto ambiental correspondiente (Función pública, 1993).
Ley 1753	2015	Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 “Todos por un nuevo país (Función pública, 2015).	Modifica en su Artículo 178 el Artículo 57 de la Ley 99 de 1993 e indica que el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible expedirá los términos de referencia para la elaboración del estudio de impacto ambiental y las autoridades ambientales los fijarán de forma específica dentro de 15 días hábiles desde la radicación de la solicitud (Función pública, 2015).
Decreto 1076	2015	Incorpora las modificaciones introducidas al Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible a partir de la fecha de su expedición (Función pública, 2015).	Según la sección 3 de estudios ambientales en su Artículo 2.2.2.3.3.2. de los términos de referencia, se debe presentar el estudio de conformidad con la Metodología General para la Presentación de Estudios Ambientales por parte del solicitante, ya que es de obligatorio cumplimiento (Función pública, 2015). En la sección 5 sobre el estudio de impacto ambiental, el Artículo 2.2.2.3.5.1. describe que un estudio de impacto ambiental debe contener información relacionada con la evaluación de impactos ambientales y análisis de riesgos (Función pública, 2015).
Resolución 1060	2021	Por la cual se adoptan los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental, requerido para el trámite de la licencia ambiental en proyectos de uso de biomasa para la generación de energía y se toman otras determinaciones (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).	Según el Artículo 1 deben adoptarse los términos de referencia identificados con el código TdR-021 para elaborar un Estudio de Impacto Ambiental – EIA. Además, el ámbito de aplicación incluye autoridades ambientales y particulares dentro del trámite de licenciamiento ambiental para elaborar un EIA (Artículo 2) (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).
Resolución 1552	2005	Por el cual se adoptan los manuales para evaluación de Estudios Ambientales y de seguimiento ambiental de Proyecto y se toman otras determinaciones	Su objetivo es adoptar manuales de evaluación de estudios ambientales y de seguimiento ambiental de proyectos, que se anexan a la presente resolución y hacen parte integral de la misma (Ministerio de Ambiente, 2005).

Normativa	Año	Título	Descripción
		(Ministerio de Ambiente, 2005).	
Adaptado de Función pública (s.f.) y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (s.f.).			

2.4 Estado del arte

2.4.1 Antecedentes internacionales de metodologías de evaluación de impacto ambiental

Banyal, et al. (2019) presentan una revisión de metodologías de evaluación de impacto ambiental (EIA) con el fin de identificar el método más apto para la EIA de la expansión de carreteras en regiones montañosas. Los autores categorizaron las metodologías examinadas como Ad hoc, lista de chequeo (checklist), matrices, superposiciones, redes (networks), sistemas de información geográfica (SIG), análisis costo-beneficio y modelado, llegando a la conclusión de que los métodos convencionales de EIA son costosos, requieren de mucho tiempo y pueden sufrir de sesgos de subjetividad; por lo que los SIG se consideraron como el mejor método para la EIA de la expansión de carreteras porque brindan resultados imparciales e interpretables (Banyal, et al., 2019).

Angulo-Milhem, et al. (2021), caracterizaron el impacto de los productos a base de aceites esenciales en la calidad del aire interior (IAQ) mediante la investigación de emisiones realistas y su destino, cuyos resultados determinaron que los productos ecológicos seleccionados son una fuente de generación de terpenos y formaldehídos en entornos confinados causando un impacto ambiental en la calidad del aire. No se menciona la aplicación de una metodología de evaluación de impacto ambiental (Angulo-Milhem, et al., 2021).

2.4.2 Antecedentes nacionales de metodologías de evaluación de impacto ambiental

Cuando se trata de la evaluación de impactos ambientales (EIA) en Colombia, diversos autores proponen metodologías para diferentes contextos de la siguiente manera:

Plazas, et al. (2009) se basaron en un índice de calidad ambiental (ICA) para ejecutar una valoración de impactos ambientales. Las fases de la metodología consistieron en la construcción de matrices, jerarquización de elementos y atributos de impacto ambiental, análisis de componentes principales (ACP) para los atributos de impacto y elementos ambientales y el análisis de grupos para los estudios de impacto ambiental (EsIA). Acorde con los resultados, la metodología logró la EIA y un valor final de impacto global por proyecto, además de un valor de impacto ambiental por componente. Por lo que la estadística multivariada evitó la subjetividad de parámetros y ponderadores de los modelos empleados para la EIA de la construcción y funcionamiento de proyectos de desarrollo (Plazas, et al., 2009).

Martínez (2010), incorporó un índice de importancia en función de la calidad ambiental del impacto al seleccionar variables cualitativas (Carácter, intensidad, cobertura, sinergismo, acumulación, reversibilidad y periodicidad), asegurando que la variable de intensidad pudiera ser valorada independientemente al incorporar la vulnerabilidad ambiental del factor afectado y el impacto potencial de la actividad. Se determinó que el procedimiento es más objetivo para determinar la importancia en función de la calidad ambiental del factor afectado por el proyecto, considerando las medidas de manejo ambiental (Martínez, 2010).

Toro, et al. (2013) propusieron la aplicación de un método cualitativo que permitiera calcular la importancia del impacto basado en las características de los factores ambientales y las actividades del proyecto, definiendo la importancia total del impacto y la especificación del procedimiento de cuantificación para obtener resultados objetivos que reduzcan el riesgo de la

manipulación de datos por el evaluador. También se aplicó la metodología en el caso de estudio de una perforación petrolera en Colombia cuyos resultados obtenidos reflejaron la objetividad en la EIA y una correlación positiva entre las características técnicas y ambientales de las actividades del proyecto (Toro, et al., 2013).

Maestre (2016) planteó el uso del método de investigación de observación directa, en cuyas conclusiones explicó que los impactos ambientales y sociales durante la ejecución de una obra se pueden anticipar durante la planificación para minimizar los riesgos y evitar problemas con la comunidad. Asimismo, se resaltó la importancia del cumplimiento de las normas en la regulación de las condiciones ambientales en los proyectos constructivos (Maestre, 2016).

Los autores Vilorio, et al. (2018) propusieron una metodología ad hoc para la evaluación del impacto ambiental (EIA) en proyectos de infraestructura considerando su ciclo técnico. Los pasos planteados abarcaron la caracterización de dichos proyectos, identificación de sus impactos ambientales, proposición y escalamiento de atributos para la EIA, definición de significancia ambiental, desarrollo del instrumento para EIA y un estudio de caso que fue aplicado en la construcción de la vía transversal Río de Oro – Aguacalara – Gamarra Hitos 56 y 57 en el departamento del Cesar. Se pudo concluir que la metodología planteada contribuyó a la profundización del escalamiento de atributos para la EIA, reduciendo el sesgo de evaluaciones ambientales y contribuyendo a la estandarización de procesos de determinación del impacto ambiental a nivel constructivo (Viloria, et al., 2018).

Mantilla, et al. (2023) realizaron la búsqueda de investigaciones relacionadas con el ACV o LCA de materias primas agrícolas para la producción de aceites esenciales. Se consultaron trabajos investigativos de los últimos 12 años y el alcance, categorías de impacto, unidad funcional, fuentes de información, métodos de asignación y herramientas. De un total de 50 investigaciones,

solo 13 analizaron aceites esenciales y las tendencias identificadas incluyeron el enfoque de la cuna a la puerta, el uso de SimaPro y la base de datos de Ecoinvent, además de los métodos de asignación másico y económico (Mantilla, et al., 2023).

3. Método

Se planteó la aplicación de una metodología de investigación mixta que comprende información cuantitativa y cualitativa para el análisis de datos numéricos y no numéricos, con el fin de establecer una metodología para evaluar el impacto ambiental del uso de aceites esenciales, componentes mayoritarios y nanoemulsiones como posibles desinfectantes en ambientes intrahospitalarios. Las etapas definidas fueron las siguientes:

3.1 Etapa 1 - Análisis bibliométrico sobre metodologías actuales y emergentes de evaluación de impacto ambiental

A partir del primer objetivo específico planteado para el proyecto, se buscó recopilar la información sobre metodologías actuales y emergentes de evaluación de impacto ambiental por medio de la base de datos referencial Scopus (Elsevier, 2024). Este proceso se dividió en los siguientes pasos:

3.1.1 Definición de la ecuación de búsqueda

Inicialmente se identificó a palabras clave del proyecto como "Disinfectant Agent" y "Environmental Impact Assessment" y se verificaron los términos mediante el tesoro de *ScienceDirect Topics*, para posteriormente elaborar una ecuación de búsqueda aplicable en la base de datos de Scopus, relacionada con el tema de investigación. Esta ecuación fue refinada mediante

un mapa basado en datos bibliográficos con base en las palabras clave por medio del programa de visualización de redes bibliométricas VOSviewer (Van Eck y Waltman, 2022).

3.1.2 Análisis comparativo de la información

Con base en los documentos obtenidos en la base de datos aplicando la ecuación de búsqueda correspondiente a “TITLE-ABS-KEY (("disinfectant agent") AND ("Environmental Impact Assessment")) AND PUBYEAR > 2013 AND PUBYEAR < 2025”, se desarrolló el análisis comparativo de la información a través una revisión sistemática de la literatura con los artículos identificados en el ejercicio de bibliometría.

3.2 Etapa 2 - Establecimiento de una metodología integrada para la evaluación del impacto ambiental de aceites esenciales como desinfectantes

Conforme con lo planteado en el segundo objetivo específico y los resultados de la etapa 1, se continuó con la selección y redacción de información en la que se identificaron las metodologías que más se adaptaban a la evaluación de los impactos ambientales de aceites esenciales como desinfectantes según los resultados del análisis bibliométrico realizado previamente. Con base en esa revisión se propuso una metodología para la evaluación de impacto ambiental.

3.3 Etapa 3 – Validación de la metodología propuesta por medio de expertos (Método Delphi)

A partir de la metodología propuesta, se planteó la validación de esta mediante un ejercicio de consulta a expertos mediante el método Delphi. Los expertos fueron seleccionados de acuerdo con su formación académica y experiencia en el tema. Este ejercicio se realizó a través de la

presencialidad mediada por tecnología en la plataforma de Microsoft Teams, donde se hizo la presentación de la metodología propuesta y se aplicó una pequeña encuesta para recibir la respectiva retroalimentación.

4. Resultados y discusión

4.1 Etapa 1 - Análisis bibliométrico sobre metodologías actuales y emergentes de evaluación de impacto ambiental

La aplicación de la ecuación de búsqueda en la base de datos Scopus indicó que para julio de 2024 se registran un total de 31 documentos, de los cuales 24 son artículos de investigación, 6 son artículos de revisión (Review) y 1 es una nota.

En la *Figura 1* se evidencian los documentos publicados los últimos 10 años relacionados con la evaluación del impacto ambiental de desinfectantes. El número de documentos fluctuó entre 2 para 2014, 2015, 2017 y 2024, 7 documentos para 2016, 4 documentos para 2018, 3 documentos para 2019 y 2023, 5 documentos para 2020 y 0 documentos para 2021. Esto indica que el interés en el tema varió a lo largo de una década, siendo el año 2016 en el que mayor cantidad de publicaciones se realizaron.

Figura 1. *Publicaciones de documentos registrados en los últimos 10 años sobre la evaluación del impacto ambiental de desinfectantes*



Adaptado de la base de datos Scopus (Elsevier, 2024).

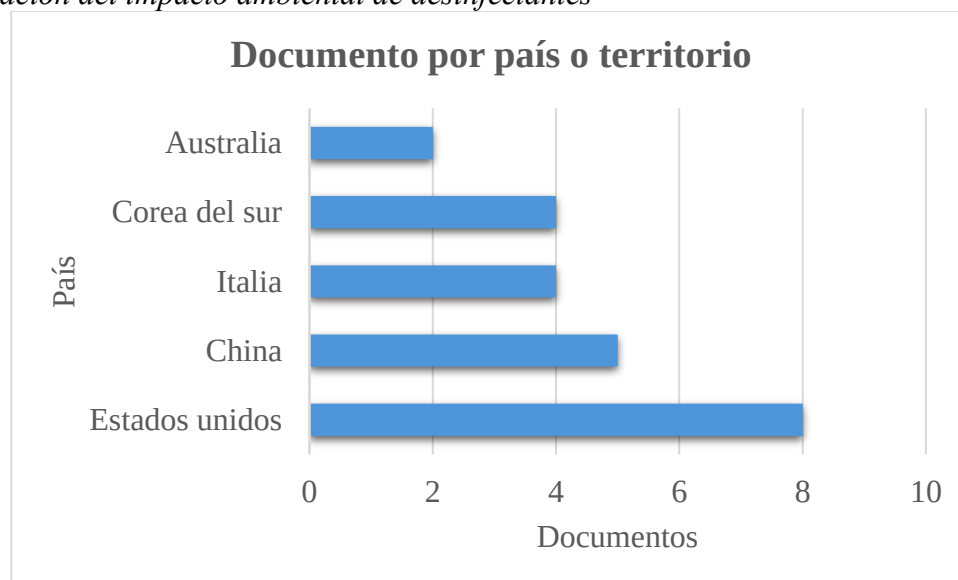
En la *Figura 2* se observan los cinco países con mayor número de publicaciones en el área de interés, en el que Estados Unidos ocupa el primer lugar con 8 documentos. Esto puede relacionarse con la Ley de Política Ambiental Nacional (NEPA), citada en el preámbulo de la Constitución Estadounidense, en la que cada agencia federal debe asumir la responsabilidad ambiental y donde el proceso de evaluación del impacto ambiental es considerado un trabajo en conjunto que se promueve a través de la generación de investigaciones relacionadas con el tema (Sanford y Holtgrieve, 2023).

El segundo lugar lo ocupa China con 5 documentos publicados. En este país entró en vigor la Ley de la República Popular China Sobre Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) en el 2003 y desde entonces se han desarrollado etapas de exploración, práctica y reforma que han influido positivamente en la gestión ambiental, el sistema de leyes y reglamentos, no obstante, es necesario que se fortalezcan los sistemas de participación pública (Yang, et al., 2023).

El número de documentos publicados proveniente de Italia fue 4. En esta zona, la normativa de evaluación de impacto ambiental se implementó en el Decreto Legislativo Italiano 152 del 3 de abril del 2006, siendo este uno de los pocos avances sobre la EIA (Vdpsrl, 2024). Corea del sur al igual que Italia, ocupa el tercer lugar con 4 documentos. En este país la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental se promulgó en 1977 con el fin de minimizar el impacto ambiental de proyectos de desarrollo y lograr el desarrollo sostenible, no obstante, la realización de una EIA sólo es posible cuando existe una cantidad y calidad adecuada de datos, lo que afecta la ejecución de estudios sobre el tema (An, et al., 2023).

Australia contempla la evaluación del impacto ambiental en proyectos con efectos significativos en los diferentes ecosistemas en conformidad con la Ley de Protección Ambiental y Conservación de la Biodiversidad (DCCEEW, 1999). Sin embargo, la falta de estándares de normas sobre el tema en el país, puede ser la razón de que sólo 2 documentos se hayan publicado en Scopus (APH, s.f.).

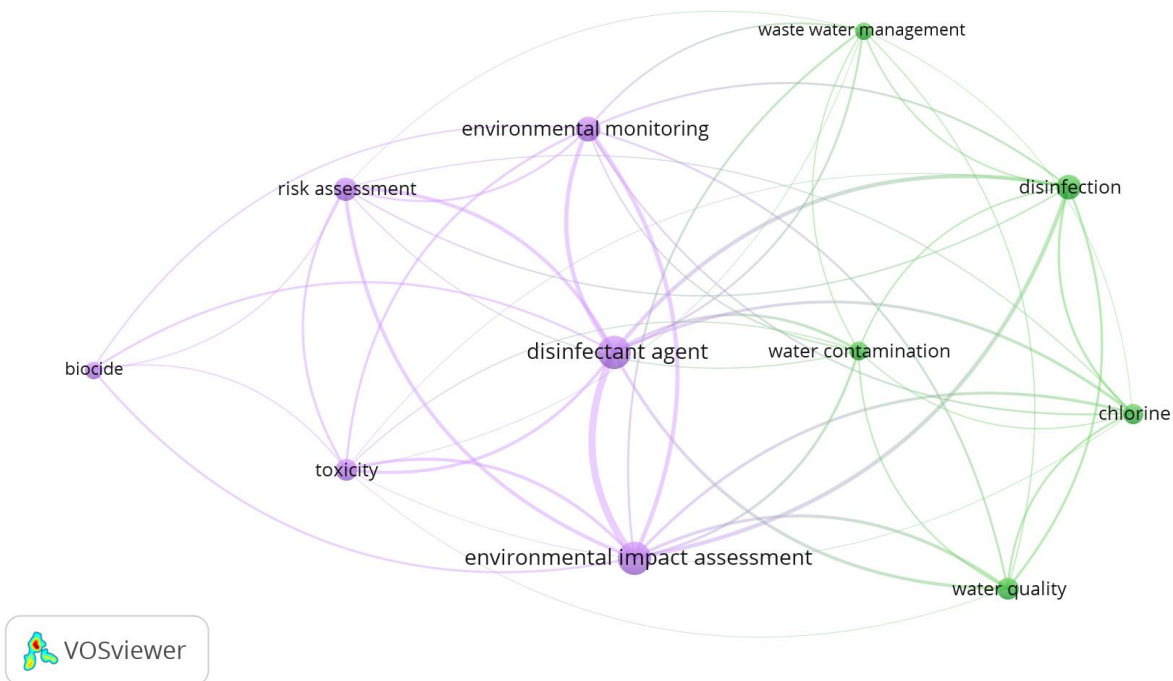
Figura 2. *Los 5 países con mayor número de documentos publicados en los últimos 10 años sobre la evaluación del impacto ambiental de desinfectantes*



Adaptado de la base de datos Scopus (Elsevier, 2024).

De acuerdo con la *Figura 3*, el mapa de palabras clave elaborado en VOSviewer y basado en los datos bibliográficos obtenidos en SCOPUS se divide en un primer clúster, identificado con el color morado y enfocado en términos como agente desinfectante, evaluación del impacto ambiental, monitoreo ambiental, toxicidad, evaluación del riesgo y biocida. El segundo clúster con color verde se centró en palabras como desinfección, contaminación del agua, calidad del agua y cloro.

Figura 3. Mapa de palabras clave relacionadas con la evaluación del impacto ambiental de desinfectantes



Adaptado del software VOSviewer (2024).

A partir de los documentos obtenidos por medio de la ecuación de búsqueda, se seleccionaron 5 artículos relevantes para el establecimiento de la metodología de evaluación del impacto ambiental, como se muestra en la *Tabla 6*.

Tabla 6. Documentos sobre las metodologías de evaluación de impacto ambiental obtenidos a través de la ecuación de búsqueda

Título	Autores	Año de publicación	Método / Metodología de evaluación de impacto ambiental	Tipo de ambiente	Tipo de desinfectante (Composición química)	Aspectos importantes a considerar
Risk assessment of a mixture of emerging contaminants in surface water in a highly urbanized area in Italy	Francesco Riva, Ettore Zuccato, Enrico Davoli, Elena Fattore y Sara Castiglioni	2019	Evaluación del riesgo ambiental (Environmental risk assessment – ERA)	Aguas residuales	Entre los contaminantes emergentes (ECs) seleccionados se encuentran desinfectantes como triclosán y triclocarbán	Para la evaluación del riesgo ambiental se calcularon los cocientes de riesgo (RQs) para cada contaminante emergente (EC) como la relación entre las concentraciones medidas (MECs) y las concentraciones predichas sin efecto.
Assessment of ecological hazards and environmental fate of disinfectant quaternary ammonium compounds	Paul DeLeo, Carolyn Huynh, Mala Pattanayek, Katherine Clark y Nathan Pechacek	2020	Evaluación de peligros ecotoxicológicos y destino ambiental	Aguas residuales	Desinfectantes a base de compuestos de amonio cuaternario como el Cloruro de alquil dimetil bencil amonio (ADBAC) y cloruro de dialquil dimetil amonio (DDAC)	El artículo se basa en información proporcionada por la US EPA sobre la Evaluación de Riesgos Ecológicos en Apoyo al Nuevo Registro de ADBAC y DDAC por parte de la División de Antimicrobianos, el Capítulo de Evaluación de Riesgos Ecológicos y Riesgos Ambientales Cloruro de Alquil Dimetil Bencil Amonio, la base de datos EnviroTox de la EPA, entre otros.
Priority setting for managem	Yun-hee Choi, Min-sung	2020	Clasificación y puntuación química	En hogares	Entre los biocidas se encuentran los	Los autores desarrollaron un nuevo método CRS

Título	Autores	Año de publicación	Método / Metodología de evaluación de impacto ambiental	Tipo de ambiente	Tipo de desinfectante (Composición química)	Aspectos importantes a considerar
ent of hazardous biocides in Korea using chemical ranking and scoring method	Kang, Da-an Huh, Woo-ri Chae y Kyong Whan Moon		(Chemical ranking and scoring – CRS)		desinfectantes clasificados en la siguiente serie de categorías: cloro, alcohol, compuestos de amonio cuaternario y ácido aniónico.	que refleja las características de exposición y toxicidad de los biocidas mediante once indicadores y una puntuación basada en el sistema globalmente armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos.
The environmental footprint of single-use versus reusable cloths for clinical surface decontamination: a life cycle approach	B. Maloney, T. McKerlie, M. Nasir, C. Murphy, M. Moi, P. Mudalige, N.E. Naser, B. Duane	2022	Evaluación de impacto del ciclo de vida (Life Cycle Impact Assessment - LCIA)	Entornos de atención sanitaria	Se hizo uso de tres desinfectantes compatibles: alcohol isopropílico al 70%, compuestos de amonio cuaternario (QAC) y Clorox como un producto ficticio basado en 0,55% de hipoclorito de sodio y otros ingredientes	Se hizo uso de la base de datos de EcoInvent v3.7.1. y el software de OpenLCA v1.10.3
Monitoring, fate, transport, and risk assessment of organic pollutants in the environment: CREST publications during	Hao Chen, Peng Gao, Xinran Zhu, Sudarshan Basyal y Lena Ma	2023	Evaluación del riesgo	Aguas superficiales y agua potable	Subproductos de la desinfección como haloacetaldehídos como el ácido cloroacético y las N-nitrosaminas	El artículo resalta la importancia de una mayor investigación con respecto a la detección de contaminantes orgánicos y sus impactos en el ecosistema, determinar sus concentraciones para evaluar adecuadamente sus riesgos. Además,

Título	Autores	Año de publicación	Método / Metodología de evaluación de impacto ambiental	Tipo de ambiente	Tipo de desinfectante (Composición química)	Aspectos importantes a considerar
2019-2023						resalta la necesidad de la estandarización de métodos para determinar de forma rápida y exhaustiva los riesgos de dichos contaminantes orgánicos a los seres humanos y los ecosistemas

Adaptado de Riva et al. (2019), DeLeo et al. (2020), Choi et al. (2020), Maloney et al. (2022) y Chen et al. (2023).

En su artículo, Chen, et al. (2023) explica el análisis efectuado para 30 artículos de revisión sobre el monitoreo, destino, transporte y evaluación del riesgo de contaminantes orgánicos en el ambiente, publicados en el foro internacional de CREST (Critical Reviews in Environmental Science), destacando los avances recientes en diferentes tipos de tecnologías de monitoreo, examinando los destinos y riesgos de grupos clave de contaminantes orgánicos, como los PFAs, PPCP, pesticidas, subproductos de la desinfección, entre otros (Chen, et al., 2023).

Cuando se habla de la evaluación del riesgo, Loiseau, et al. (2012) señala que es una herramienta que permite identificar sustancias problema, caracterizar fuentes de contaminación y fomentar medidas de mitigación (Loiseau, et al., 2012). Esta constituye una base para la evaluación del impacto ambiental, ya que considera la identificación o predicción de impactos, combinando métodos para cuantificar tanto el impacto, como el riesgo, generando una variedad de resultados con una menor incertidumbre (Sluser, et al., 2022). Otros aportes notables de los autores de este artículo son la necesidad de un mayor nivel de investigaciones y la mejora de metodologías de transformación relacionadas con matrices y herramientas de evaluación de riesgos que

cuantifiquen los impactos a la salud humana y el ambiente de los contaminantes orgánicos, como la evaluación del riesgo ecológico, junto con la evaluación de impactos en ecosistemas. En el artículo no se menciona específicamente el tipo de matrices y herramientas de evaluación (Chen, et al., 2023).

En un segundo documento sobre la Evaluación del Riesgo Ambiental (Environmental Risk Assessment - ERA), los autores Riva, et al. (2019) tomaron diferentes muestras en el río de Lambro, Seveso y Olona en Milán (Italia) para detectar contaminantes emergentes (ECs), incluyendo al triclosán y triclocarbán identificados en desinfectantes. El muestreo se realizó cada 10 minutos durante 2 horas a una profundidad de 10 a 50 cm con un muestreador automático portátil. Sólo aquellos compuestos presentes en la superficie del agua a niveles mayores que los límites de cuantificación (LOQ) con disponibilidad de datos ecotoxicológicos, fueron incluidos en la ERA (Riva, et al., 2019)

Para la Evaluación del Riesgo Ambiental de compuestos simples, Riva, et al. (2019) aplicaron la ecuación 1 para cada contaminante emergente (EC), como se muestra a continuación:

$$RQ_i = \sum_{i=1}^n \frac{MEC_i}{PNEC_i} \quad (1)$$

RQ_i = Cociente de riesgo; MEC_i = Concentración ambiental medida en aguas superficiales; $PNEC_i$ = Concentraciones previstas sin efecto, calculada como la relación entre la concentración de la sustancia que induce el 50% de su efecto máximo (Concentración de efecto o EC50) en pruebas a corto plazo y un factor de evaluación (AF).

La ecuación 2 fue aplicada por Riva et al. (2019) para mezclas de compuestos, utilizando Unidades Tóxicas (TUs) de la siguiente manera:

$$RQ_{(STU)} = \max \left(\sum_{i=1}^n \frac{MEC_i}{EC50_{i,algae}}; \sum_{i=1}^n \frac{MEC_i}{EC50_{i,Daphnia}}; \sum_{i=1}^n \frac{MEC_i}{EC50_{i,fish}} \right) \times AF$$

$$= \max(STU_{algae}; STU_{Daphnia}; STU_{fish}) \times AF \quad (2)$$

$RQ_{(STU)}$ = Cociente de riesgo; MEC_i = Concentración ambiental medida en aguas superficiales; $EC50$ = Concentración de efecto máximo al 50% (Seleccionado según los datos de literatura); STU = Suma de unidades tóxicas más alto (Nivel trófico más sensible); AF = Factor de evaluación (Normalmente 1000).

Evaluar el riesgo ambiental implica conocer los posibles impactos de un proyecto o actividad en el medio ambiente, por medio de la recopilación y análisis de información sobre el sistema de estudio, para posteriormente, tomar medidas de mitigación de posibles riesgos (Caetano, et al., 2023). Según Di Lorenzo, et al. (2023), el riesgo ambiental (R) se calcula con la siguiente ecuación:

$$R = \frac{MEC}{PNEC} \quad (3)$$

MEC = Concentración ambiental medida; $PNEC$ = Concentración sin efecto prevista del compuesto químico.

Las similitudes entre lo establecido por los autores, es que tratan el tema de la evaluación del riesgo, sin embargo, Chen, et al. (2023) no establece un tipo de metodología de evaluación de riesgo específica y aunque analiza una cierta cantidad de artículos, sus observaciones son sobre aspectos generales a mejorar. Por su parte, Riva, et al. (2019) indica que su enfoque se relaciona con el aspecto ambiental, aplicando la metodología de Evaluación del Riesgo Ambiental a un caso real para compuestos simples y mezclas de compuestos, en la que se adaptó la información de la literatura para hacer un examen específico. Sin embargo, dentro de la búsqueda realizada no se encontraron otros autores que hayan aplicado la ERA, por consiguiente, no fue posible contrarrestar la efectividad del método descrito por Riva, et al. (2019).

En un tercer artículo, DeLeo, et al. (2020) realizan la evaluación de peligros ecotoxicológicos y destino ambiental de desinfectantes con compuestos de amonio cuaternario (Quats) como el Cloruro de alquil dimetil bencil amonio (ADBAC) y cloruro de dialquil dimetil amonio (DDAC), considerados comunes en desinfectantes. En la metodología, los autores mencionan que se hizo uso de la literatura disponible y de resúmenes de datos no publicados que fueron presentados y revisados por agencias reguladoras. Además, se contemplaron los cuatro enfoques del Modo de Acción (MOA) donde se encuentra la herramienta de software de estimación de toxicidad (TEST) de la EPA, la herramienta de evaluación de riesgos (ASTER) de la EPA, el MOA de OASIS utilizado en la caja de herramientas QSAR de la OECD (Organization for Economic Cooperation and Development o la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico). Se observó recientemente que hay niveles bajos de Quats desinfectantes en efluentes de aguas residuales con valores entre $0,4 \mu\text{g L}^{-1}$ a $6,6 \mu\text{g L}^{-1}$ (DeLeo, et al., 2020).

En este contexto, el destino ambiental está determinado por lo que sucede una vez que se libera una sustancia química en el aire, agua o suelo, en donde su comportamiento va a depender de propiedades físicoquímicas (presión de vapor, solubilidad en agua, coeficiente de partición agua-octanol (K_{ow}), coeficiente de partición carbono orgánico del suelo-agua (K_{oc}), entre otros (Wexler, 2014). DeLeo, et al. (2020) explica que, en el examen del destino ambiental de los compuestos de amonio cuaternario antimicrobianos, las instalaciones de tratamiento de aguas residuales centralizadas, aguas superficiales y tanto sedimentos asociados, como suelo modificado con biosólidos son los más relevantes, porque los Quats se biodegradan de forma rápida y tienen sorción (DeLeo, et al., 2020).

Cuando de peligros ecotoxicológicos se trata, estos deben evidenciar los efectos adversos potenciales de compuestos químicos en todo el ecosistema. Sin embargo, los estudios

ecotoxicológicos usados por agencias reguladoras involucran la evaluación del riesgo ecológico (Ecological Risk Assessment – ERA) (Scheiner, 2023). La información sobre la ecotoxicidad de los ADBAC varió en diferentes grupos tróficos, incluyendo algas, peces, invertebrados y plantas acuáticas, mientras que, para los DDAC, los grupos tróficos fueron algas, peces e invertebrados (DeLeo, et al., 2020).

En el cuarto documento sobre el establecimiento de prioridades para la gestión de biocidas peligrosos en Corea mediante un método de clasificación y puntuación de productos químicos, Choi, et al. (2020) crea un nuevo método de clasificación y puntuación química (Chemical ranking and scoring – CRS) que refleja las características exposición y toxicidad de los biocidas, tomando como referencia once indicadores y la puntuación basada en el sistema globalmente armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos (GHS) (Choi, et al., 2020).

El CRS se calculó mediante la siguiente serie de pasos según Choi, et al. (2020):

- *Identificación de productos biocidas de destino:* Dado a que existen diversos tipos de biocidas en el mercado, se seleccionaron cuatro categorías (insecticida, desinfectante, rodenticida y repelente).
- *Recopilación de datos sobre productos e ingrediente biocidas:*

Primera encuesta: incluyó información de sustancias permitidas por la ley, enumeradas en informes nacionales y vendidas en línea. Después, se examinaron cinco informes relacionados con el proceso de desinfección en corea y finalmente, se realizó una encuesta en línea a vendedores de biocidas en internet, usando la aplicación “Naver”.

Segunda encuesta: su objetivo fue obtener información sobre los componentes de cada producto en 309 empresas que hacen parte de la Sociedad Coreana de Desinfección y manejan biocidas, al encuestar a sus empleados.

- *Compilación de información toxicológica de productos biocidas:* se analizaron 124 compuestos y su información de riesgos a la salud considerando el número CAS y nombres químicos de acuerdo con la IUPAC. Las variables de riesgo a la salud analizadas fueron toxicidad agua oral, dérmica e inhalación, corrosión/irritación cutánea, daño/irritación ocular, sensibilidad respiratoria, riesgo de aspiración, carcinogenicidad, mutagenicidad, toxicidad reproductiva y toxicidad específica en determinados órganos.
- *Selección de productos químicos biocidas para el establecimiento de prioridades en materia de riesgos para la salud:* 118 sustancias fueron elegidas para la evaluación de priorización de riesgos para la salud, ya que se excluyeron aquellas sin información sobre toxicidad y bioacumulación.
- *Método de establecimiento de prioridades de riesgo para la salud:*

Sistema de puntuación del índice de exposición: es la suma de las puntuaciones de la cantidad en el mercado (número de productos e ingredientes definidos en la investigación de mercado realizada), el volumen de circulación (indicador de la cantidad de sustancias químicas usadas en su sitio de manipulación) y bioacumulación (grupo de distribución seleccionado como indicador de exposición).

Sistema de puntuación del índice de toxicidad: se calcula al sumar las puntuaciones de toxicidad CMR (Es la suma de las puntuaciones de carcinogenicidad, mutagenicidad y toxicidad reproductiva) que van desde 1.5 a 30 puntos y otra toxicidad (Suma de puntuaciones de toxicidad por inhalación, toxicidad dérmica, toxicidad ocular, toxicidad oral y toxicidad por dosis repetidas) con valores de 2.5 a 30 puntos.

- *Análisis estadístico:* se usó el software SPSS versión 25.0 para el análisis estadístico avanzado de los datos al ser accesible para todos los usuarios a niveles de complejidad

diferentes (IBM, 2024). Se aplicó el análisis de correlación de Pearson, de regresión lineal múltiple y de correlación de rangos de Spearman.

El método de clasificación y puntuación química planteado por Choi, et al. (2020) se basa en la composición química de los biocidas, entre los que se incluyen los desinfectantes. No obstante, Kim, et al. (2021) identificaron que su trabajo se limitó a 171 ingredientes de un total de 989 productos y que no se tuvo en cuenta la exposición combinada ni la evaluación de riesgos de la mezcla (Kim, et al., 2021).

Conforme lo indicado por Maloney, et al. (2022), en su artículo se aplica la Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida (Life Cycle Impact Assessment - LCIA) para paños reutilizables de algodón y microfibra comparados con paños convencionales de un solo uso, con tres desinfectantes compatibles (alcohol isopropílico al 70%, compuestos de amonio cuaternario (QAC) y Clorox con 0,55% de hipoclorito de sodio y otros ingredientes). La particularidad de esta metodología es que, según la ISO 14040:2006 sobre la Gestión ambiental – Evaluación del ciclo de vida (Principios y marco), la LCIA hace parte de la tercera fase del Análisis de Ciclo de Vida (Life Cycle Assessment – LCA), cuyo objetivo es suministrar información para evaluar los resultados del inventario de ciclo de vida, correspondiente a la segunda fase del LCA (ISO, 2006).

Esto quiere decir que, dentro del LCA existen cuatro fases: definición del objetivo y alcance, análisis del inventario, evaluación del impacto ambiental e interpretación (ISO, 2006). La LCIA corresponde a una fase con elementos obligatorios como: La selección de las categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos de caracterización, asignación de los resultados de la fase de análisis del inventario de ciclo de vida (Life Cycle Inventory - LCI), y cálculo de los resultados del indicador de categoría (Hemdi, et al., 2009).

Por lo tanto, Maloney, et al. (2022) en realidad realizó un Análisis de Ciclo de Vida con el objetivo principal de conocer el impacto ambiental de paños de los diferentes materiales y desinfectantes mencionados anteriormente. Su alcance contempló una unidad funcional de un paño de algodón, microfibra o polietileno de un solo uso disponible comercialmente, utilizado por un único médico para la limpieza de una superficie contaminada y los límites del sistema incluyeron las etapas de producción, transporte, uso, lavado y desecho (desde la cuna hasta la tumba) (Maloney, et al., 2022).

Adicionalmente, el análisis de inventario de ciclo de vida fue creado para el algodón y microfibra según los criterios de suposición y exclusión (Maloney, et al., 2022). También se usó la base de datos de EcoInvent v3.7.1, debido a que esta ofrece licencias de datos ambientales en todo el mundo (Ecoinvent, 2024) y el software de OpenLCA v1.10.3 para el cálculo del LCA de forma rápida y fiable (OpenLCA, 2024).

La ISO 14040:2006 proporcionó una guía para establecer los parámetros y suposiciones de modelado y La Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida, tuvo en cuenta 16 categorías de impacto recomendadas por la metodología de Huella Ambiental del Producto (Product Environmental Footprint - PEF). En la tabla del resumen de cargas ambientales, dichas categorías son: acidificación, cambio climático, ecotoxicidad, recursos energéticos, eutrofización en agua dulce, eutrofización marina, eutrofización terrestre, toxicidad humana/cáncer, toxicidad humana/no canceroso, radiación ionizante, uso del suelo, recursos materiales, agotamiento del ozono, material particulado, formación de ozono fotoquímico y uso del agua. En la tabla de resultados normalizados, las categorías de toxicidad no fueron incluidas por recomendación de la metodología PEF para hacer la comparación del impacto promedio de una persona al usar paños de diferentes materiales en su vida diaria, con el impacto en la vida diaria durante un año.

Igualmente, se hizo un análisis de contribución del material de los diferentes paños a cada categoría de impacto (Maloney, et al., 2022).

Las limitaciones de la LCA como metodología se relacionan con la cuantificación del impacto ambiental de los productos (Maloney, et al., 2022). Curran (2012), indica que muy rara vez los resultados de un Análisis de Ciclo de Vida identificarán una alternativa como mejor que otra por la incertidumbre de los resultados finales, pero esto no implica que no se mejore la comprensión de los impactos, dónde ocurren y su magnitud (Curran, 2012). El LCIA se basa en varios supuestos que definen el alcance de la metodología, afectando la validez de los datos, como en el caso del uso de EcoInvent en el estudio realizado por Maloney, et al. (2022), donde ciertos materiales o procesos no se encontraban disponibles en la base de datos, por lo que se optó por otras opciones comparables (Maloney, et al., 2022).

A partir del análisis de los 5 documentos relevantes mencionados anteriormente, se determinó que la metodología de evaluación de impacto ambiental propuesta consideraría el Análisis de Ciclo de Vida, la evaluación del riesgo ambiental (ERA) y el método de clasificación y puntuación química (CRS), ya estos contemplan la información necesaria para evaluar el impacto ambiental de los aceites esenciales como desinfectantes en la salud humana y el medio ambiente.

4.2 Etapa 2 – Establecimiento de una metodología integrada para la evaluación del impacto ambiental de aceites esenciales como desinfectantes

Conforme a lo establecido por los autores Maloney, et al. (2022), Riva et al. (2019) y Choi, et al. (2020), quienes plantearon en sus respectivos artículos el proceso del Análisis de Ciclo de Vida (LCA), la Evaluación del Riesgo Ambiental (ERA) y el Método de Clasificación y

Puntuación Química (CRS), la metodología integrada para la evaluación de impacto ambiental se planteó de la siguiente manera:

4.2.1 Paso 1: Aplicación del método de clasificación y puntuación química (CRS) modificado

- A. *Identificación de productos químicos para el establecimiento de prioridades de riesgos a la salud.* Definir todos los compuestos químicos presentes en el desinfectante a base de aceites esenciales, excluyendo aquellos que no presenten información sobre los riesgos a la salud de la toxicidad y bioacumulación.
- B. *Compilación de información toxicológica de los componentes del desinfectante.* Indagar información sobre los riesgos a la salud de los compuestos del desinfectante de aceites esenciales y analizar su toxicidad a nivel oral, dérmico, por inhalación, reproductivo y en órganos, además de la irritación, carcinogenicidad y mutagenicidad.
- C. *Determinación del sistema de puntuación del índice de exposición.* Con base en la Tabla 7, debe darse una puntuación a los indicadores de cantidad en el mercado (%), volumen de circulación (toneladas/año) y bioacumulación para posteriormente sumar.

Tabla 7. Sistema de puntuación del índice de exposición

Indicadores	Sistema de puntuación	
	Criterios	Puntos
<i>Cantidad en el mercado (%)</i>	1-20	20
	21-40	15
	41-60	10
	61-80	5
	81-90	3
	91-100	1
<i>Volumen de circulación (toneladas/año)</i>	≥5000	20
	200-5000	15
	5-200	10
	1-5	5
	0,1-1	3

Indicadores	Sistema de puntuación	
	Criterios	Puntos
	<0,1	1
<i>Bioacumulación</i>	$\log_{Kow} \geq 5$	20
	$3 \leq \log_{Kow} < 5$	10
	$1 \leq \log_{Kow} < 3$	5
	$\log_{Kow} < 1$	1

Nota. *LogKow hace referencia al grupo de propiedades físicas usadas como un indicador de la distribución en el cuerpo según el Método de Clasificación de riesgo de la Unión Europea - EURAM. Adaptado de “Priority Setting for Management of Hazardous Biocides in Korea Using Chemical Ranking and Scoring Method” (Choi, et al., 2020).

D. Cálculo del sistema de puntuación del índice de toxicidad. Corresponde a la suma de las puntuaciones de los indicadores de toxicidad CMR (Carcinogenicidad, mutagenicidad y toxicidad reproductiva) y otra toxicidad evidenciada en la Tabla 8.

Tabla 8. Sistema de puntuación del índice de toxicidad

Indicadores	Sistema de puntuación		
	Información sobre toxicidad	Clase de toxicidad	Puntos
<i>Toxicidad CMR</i>	Carcinogenicidad	1	10
		2	9
		No clasificado	0,5
	Mutagenicidad	1	10
		2	9
		No clasificado	0,5
	Toxicidad reproductiva	1.Efectos sobre o a través de la lactancia	10
		2	9
		No clasificado	0,5
<i>Otra toxicidad</i>	Toxicidad por inhalación	1	6
		2	5
		3	4
		4	3
		No clasificado	0,5
	Toxicidad cutánea	5	6
		4	5
		3	4
		2	3
		0,5	0,5
	Toxicidad ocular	1	6

Indicadores	Sistema de puntuación		
	Información sobre toxicidad	Clase de toxicidad	Puntos
Toxicidad oral		2	5
		No clasificado	0,5
		1	5
		2	4
		3	3
		4	2
		5	1
		No clasificado	0,5
		1	7
		2	6
Toxicidad por dosis repetidas		No clasificado	0,5

Adaptado de “Priority Setting for Management of Hazardous Biocides in Korea Using Chemical Ranking and Scoring Method” (Choi, et al., 2020).

E. Análisis estadístico. Aplicar el análisis de Pearson entre indicadores individuales y la puntuación total, el análisis de regresión lineal para identificar el efecto de los indicadores individuales sobre la puntuación total y el análisis de correlación de rangos de Spearman para el análisis de sensibilidad.

4.2.2 Paso 2: análisis de ciclo de vida (LCA)

Este permite identificar y cuantificar los impactos ambientales asociados con todas las etapas del ciclo de vida de un producto, desde la extracción de materias primas hasta la disposición final. Esto incluye impactos en categorías como cambio climático, acidificación, eutrofización, y toxicidad. Además, facilita la comparación de diferentes productos o procesos para determinar cuál tiene un menor impacto ambiental. Para ejecución del LCA se deben cumplir las siguientes actividades:

A. Definición del objetivo y alcance. El objetivo de esta evaluación es determinar el impacto ambiental comparativo entre paños reutilizables y paños de un solo uso en la desinfección

de superficies clínicas. El alcance de este análisis considera la delimitación del sistema, que incluye las etapas clave del ciclo de vida de ambos tipos de paños: producción, uso y disposición final.

- B. Análisis del inventario del ciclo de vida (LCI).* Recopilar datos sobre los materiales, energía, y recursos utilizados en cada etapa del ciclo de vida de los paños (producción, uso, y disposición). Utilizar herramientas de modelado para calcular el uso de recursos y emisiones asociadas a cada etapa. Esto puede incluir datos sobre la producción de materias primas, procesos de fabricación, transporte, uso de energía, y eliminación de residuos.
- C. Evaluación del impacto del ciclo de vida (LCIA).* Elegir las categorías de impacto ambiental que se evaluarán, como cambio climático, acidificación, eutrofización, y ecotoxicidad. Normalizar los resultados para compararlos con el impacto ambiental promedio de un individuo en un año. Esto ayuda a entender la magnitud de los impactos en un contexto más amplio.
- D. Interpretación de resultados.* Identificar qué procesos dentro del ciclo de vida tienen el mayor impacto en cada categoría. Esto puede ayudar a enfocar esfuerzos en áreas específicas para reducir el impacto ambiental. Comparar los resultados para determinar cuál opción es más sostenible.

4.2.3 Paso 3: evaluación del riesgo ambiental (ERA)

La Evaluación del Riesgo Ambiental (ERA) es un proceso sistemático diseñado para identificar, evaluar y gestionar los riesgos que los contaminantes representan para el medio ambiente y la salud humana. Este análisis requiere de la consideración de tres actividades fundamentales: Definir el objetivo de evaluación, realizar el muestreo de agua superficial y

determinar el tipo de análisis a aplicar. Para su cálculo se debe tener en cuenta las actividades A, B y C.

- A. *Definir el objetivo de evaluación.* El primer paso es establecer un objetivo claro para la evaluación. En este caso, el objetivo es identificar y analizar el riesgo que los contaminantes emergentes pueden representar en un cuerpo de agua específico.
- B. *Muestreo de agua superficial.* Los vertimientos generados con contenido de contaminantes emergentes presentes en desinfectantes deben ser muestreados. Estas muestras deben recolectarse y analizarse con técnicas avanzadas para obtener datos precisos sobre la presencia de contaminantes.
- C. *Definir el tipo de análisis.* El análisis puede centrarse en compuestos simples o en mezclas de contaminantes. Ambos cálculos se detallan a continuación:

Cálculo del cociente de riesgo para compuestos simples. Este cálculo permite determinar si la concentración de un contaminante en el medio ambiente (en este caso, en el agua) representa un riesgo para los organismos acuáticos. Facilitando la priorización de acciones de gestión.

$$RQ_i = \sum_{i=1}^n \frac{MEC_i}{PNEC_i} \quad (1)$$

Donde:

RQ_i =Cociente de riesgo

MEC_i = Concentración ambiental medida en aguas superficiales. Se determina mediante técnicas analíticas como cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas (HPLC-MS/MS).

$PNEC_i$ = Concentraciones previstas sin efecto, Se determina la concentración a la que no se espera que el contaminante cause efectos adversos en los organismos acuáticos. Esto se puede calcular a partir de datos ecotoxicológicos, como la Concentración Efectiva (EC50) y aplicando

un factor de evaluación (Assessment Factor, AF) para tener en cuenta la variabilidad analítica y biológica.

Cálculo del cociente de riesgo para mezclas de compuestos. Este cálculo evalúa el riesgo ambiental asociado a múltiples contaminantes presentes simultáneamente, ya que los efectos combinados pueden diferir de los efectos individuales. Se utiliza la siguiente expresión:

$$RQ_{(STU)} = \max \left(\sum_{i=1}^n \frac{MEC_i}{EC50_{i,algae}}; \sum_{i=1}^n \frac{MEC_i}{EC50_{i,Daphnia}}; \sum_{i=1}^n \frac{MEC_i}{EC50_{i,fish}} \right) \times AF$$

$$= \max(STU_{algae}; STU_{Daphnia}; STU_{fish}) \times AF \quad (2)$$

Donde:

$RQ_{(STU)}$ = Cociente de riesgo

MEC_i = Concentración ambiental medida en aguas superficiales del contaminante i

$EC50$ = Concentración de efecto máximo al 50% (Seleccionado según los datos de literatura)

STU = Suma de unidades tóxicas más alto (Nivel trófico más sensible)

AF = Factor de evaluación (Normalmente 1000).

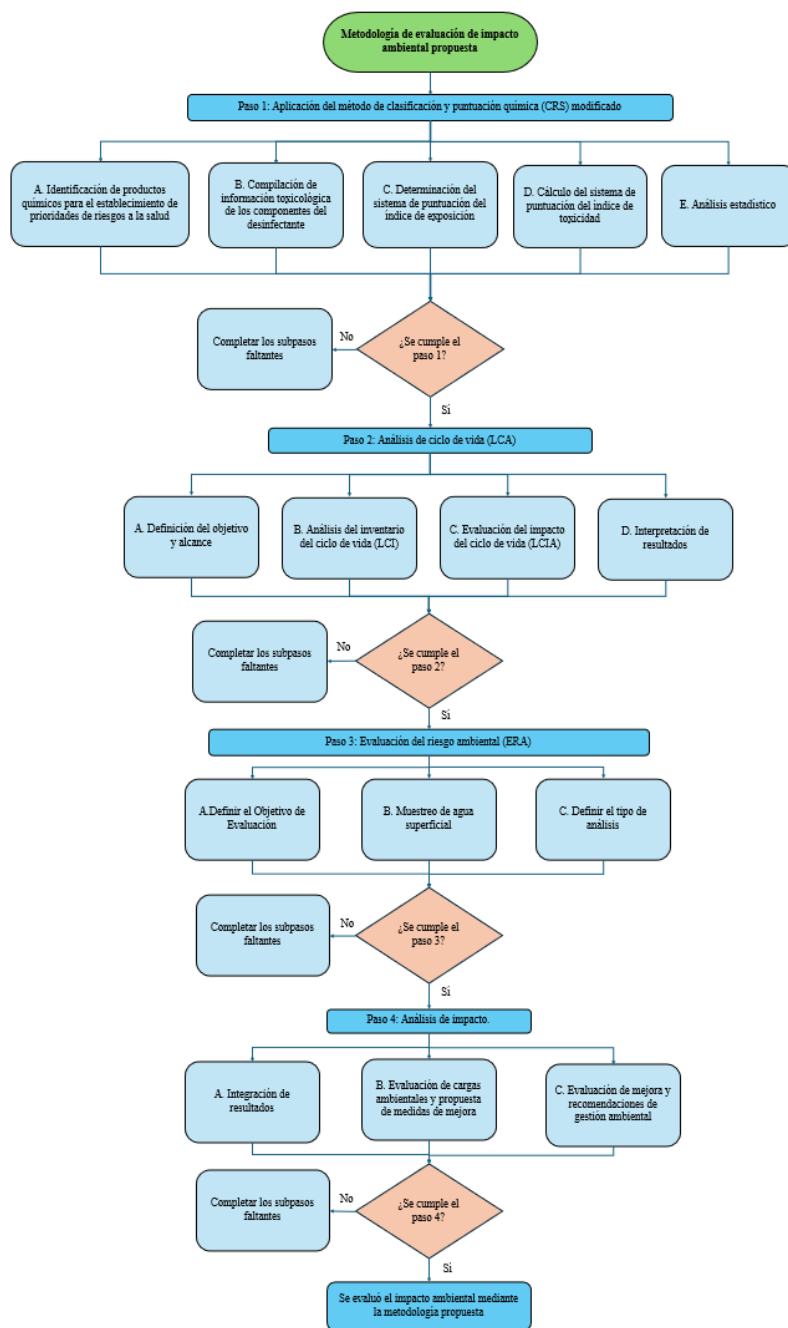
4.2.4 Paso 4: análisis de impacto

Este paso se centra en la interpretación integral de los resultados obtenidos mediante el Análisis de Ciclo de Vida (LCA), el Método de Clasificación y Puntuación Química (CRS), y la Evaluación del Riesgo Ambiental (ERA). El objetivo es comprender a profundidad los efectos ambientales asociados al uso de desinfectantes basados en aceites esenciales y definir estrategias para mitigar dichos impactos. El proceso se estructura en tres subetapas clave: integración de resultados, evaluación de cargas ambientales y propuesta de medidas de mejora, y finalmente, evaluación de mejora con recomendaciones de gestión ambiental.

- A. Integración de resultados.* Involucra la consolidación de los datos de impacto ambiental obtenidos en el ACV, tales como cambio climático, toxicidad y eutrofización, junto con las evaluaciones de riesgo químico derivadas del CRS y los índices de riesgo calculados en la ERA. Este enfoque permite identificar las etapas del ciclo de vida y los compuestos químicos del desinfectante que representan un riesgo ambiental elevado, evaluando las contribuciones de cada fase del ciclo (producción, uso, y disposición) y los distintos compuestos químicos. Así, se pueden detectar los aspectos críticos que requieren atención prioritaria para la mitigación de impactos.
- B. Evaluación de cargas ambientales y propuesta de medidas de mejora.* Se centra en determinar los principales puntos de impacto dentro del ciclo de vida del desinfectante. Con base en el análisis de cargas ambientales, se identifican las fuentes significativas de emisión, bioacumulación y persistencia de sustancias en el ambiente. Posteriormente, se establecen opciones de mejora, tales como la reformulación para reemplazar compuestos de alta toxicidad y bioacumulación, así como optimizaciones en la fabricación y en la gestión de residuos. Estas propuestas tienen como objetivo reducir significativamente la carga ambiental del producto en su ciclo de vida completo.
- C. Evaluación de mejora y recomendaciones de gestión ambiental.* Se realiza un análisis de sensibilidad para entender cómo las variaciones en parámetros clave, como las concentraciones de químicos y volúmenes de uso, afectan los resultados de impacto. Esta evaluación de sensibilidad permite verificar la solidez de las conclusiones y enfocar las acciones de mitigación más efectivas. A partir de los hallazgos, se formulan directrices específicas de manejo ambiental, que incluyen prácticas para la minimización de residuos, gestión segura de contaminantes y adopción de tecnologías limpias, asegurando que el

desinfectante basado en aceites esenciales cumpla con las normativas ambientales y de salud pública vigentes.

Figura 4. Diagrama tipo logaritmo de la metodología de evaluación de impacto ambiental propuesta



4.3 Etapa 3 – Validación de la metodología propuesta por medio de expertos (Método Delphi)

La validación de la metodología propuesta se realizó mediante el método Delphi, el cual se desarrolló mediante la plataforma Microsoft Teams, donde se socializó dicha metodología a un

panel experto, se recibió una retroalimentación y esta se formalizó mediante la aplicación de una encuesta de Formularios de Google, en la cual se realizaron 2 preguntas a los expertos: (1) ¿Qué aspectos incluiría u omitiría de la metodología propuesta? y (2) ¿Considera que la metodología propuesta es pertinente y cumple a satisfacción con lo que se propone evaluar?

Los expertos seleccionados y sus respectivas retroalimentaciones se evidencian en la siguiente tabla:

Tabla 9. Información recopilada sobre los expertos y sus opiniones respecto a la metodología de evaluación de impacto ambiental propuesta

Experto	Formación académica	Respuesta	
		Pregunta 1	Pregunta 2
1	Químico, magister en Ciencias de productos forestales y química inorgánica molecular y doctor en Química	La propuesta me parece muy pertinente y completa dado que valida la Metodología de Impacto Ambiental de los compuestos a evaluar en el proyecto por la estudiante.	Sí
2	Ingeniera Ambiental, especialista en Dirección y Gestión de la Calidad, magister en Calidad y Gestión Integral	Establecimiento de un procedimiento o instructivo, que facilite la aplicación de la metodología en otros escenarios, es decir, facilitar la estandarización de esta buena práctica.	Sí
3	Ingeniera Química, doctora en Ingeniería Química	Que se pueda dejar explícito el tiempo en el que se toma la data en cada uno de los pasos de la metodología.	Sí
4	Ingeniero Ambiental, especialista en Preservación y Conservación de los Recursos Naturales, magister en Ingeniería	En el análisis de impacto, se deben incluir todos los aspectos ambientales que correspondan, y utilizar una matriz de evaluación ambiental que mejor se adapte a las necesidades del proyecto. Recomendando CONESA-EPM para dar cierre a la evaluación.	Sí

Experto	Formación académica	Respuesta	
		Pregunta 1	Pregunta 2
5	Ingeniera Química, magister en Ingeniería con énfasis en Ingeniería Química y doctora en Ingeniería Química	Verificar que las bases de datos que se van a usar sean específicas con respecto al tema que se está trabajando y revisar la unidad funcional para que pueda ser representativa.	No registró una respuesta

Adaptado de Google Forms (2024) y Minciencias (2024).

De forma general, el consenso de los expertos fue que la metodología propuesta para evaluar el impacto ambiental del uso de aceites esenciales como desinfectantes fue pertinente y cumplió con lo que se propuso evaluar. Sin embargo, para la segunda pregunta sólo se registraron respuestas por parte de 4 de los 5 expertos consultados.

De acuerdo con las sugerencias indicadas por los expertos en la Tabla 9, se requiere la incorporación de los siguientes aspectos:

Documentación y estandarización. Se recomienda el desarrollo de un instructivo detallado que documente cada etapa de la metodología describa los procedimientos y establezca guías para su aplicación en diversos contextos. Esto incluye definir cada fase, los criterios de selección de indicadores y el tipo de herramientas y datos necesarios. La creación de este instructivo fortalecería la replicabilidad y aplicación de la metodología en otras investigaciones.

Definición temporal de pasos metodológicos. Es importante especificar los tiempos estimados de recolección de datos en cada fase del proceso, ajustando los tiempos recomendados en función del contexto y las necesidades del estudio. Para ello, se podrían desarrollar cronogramas tipo para facilitar la planificación del proceso de recolección de datos.

Incorporación de la matriz CONESA-EPM. En la fase de análisis de impacto, se propone implementar la matriz de evaluación CONESA-EPM como herramienta de análisis de impactos.

Esto permitirá categorizar y jerarquizar los impactos ambientales de forma más específica y adecuada al contexto del estudio.

Verificación de fuentes de datos y unidad funcional. Se revisarán las bases de datos y fuentes de información seleccionadas para confirmar su adecuación al tema de estudio. Además, se evaluará la propuesta funcional de la unidad para asegurar que represente adecuadamente las condiciones del sistema en estudio y sea útil en la interpretación de los resultados del análisis.

Por consiguiente, la metodología, se ajusta de acuerdo con las observaciones dadas por los expertos de la siguiente manera:

- *Paso 1 (Clasificación y Puntuación Química o CRS)*

Definición temporal de pasos. La etapa de recolección de datos se estima en un plazo de dos semanas, considerando la búsqueda en bases de datos reconocidas. Se asignará una semana adicional para el análisis y clasificación de los compuestos según sus propiedades de toxicidad y bioacumulación.

Verificación de fuentes de datos y unidad funcional. La unidad funcional utilizada será definida de acuerdo con el contexto y la escala de aplicación del desinfectante, considerando la información de la ficha de seguridad del compuesto.

- *Paso 2 (Análisis de Ciclo de Vida o LCA)*

Definición temporal de pasos. La recolección de datos de inventario del ciclo de vida (ICV) tomará aproximadamente tres semanas, considerando la obtención de datos específicos sobre los insumos y procesos de producción. Posteriormente, el análisis de impacto ambiental será realizado en dos semanas, para un total de cinco semanas.

- *Paso 3 (Evaluación del Riesgo Ambiental o ERA)*

Definición temporal de pasos. Se estima que el muestreo de agua superficial y los análisis iniciales tomarán de una a dos semanas. Posteriormente, una semana adicional será dedicada al cálculo de cocientes de riesgo basados en los datos obtenidos.

Verificación de fuentes de datos y unidad funcional. Las técnicas analíticas, como HPLC-MS/MS para la detección de contaminantes, serán validadas para asegurar que cumplen con los requisitos del análisis. Asimismo, se verificarán los datos ecotoxicológicos empleados para estimar riesgos ambientales en los organismos acuáticos del entorno.

- *Paso 4 (Análisis de Impacto)*

Incorporación de la Matriz CONESA-EPM. En esta fase, se utilizará la matriz CONESA-EPM para identificar, jerarquizar y categorizar los impactos ambientales de los desinfectantes a base de aceites esenciales. La matriz facilitará una evaluación cualitativa y cuantitativa que permitirá priorizar los impactos más significativos en términos de peligrosidad y vulnerabilidad ambiental.

Definición temporal de pasos. Se asignará un tiempo de tres semanas para la consolidación y análisis de resultados de las metodologías CRS, LCA y ERA, seguido de una semana adicional para la formulación de recomendaciones y medidas de mitigación basadas en los impactos priorizados.

5. Conclusiones

El análisis bibliométrico permitió realizar la recopilación de metodologías actuales y emergentes para la evaluación del impacto ambiental de sustancias químicas presentes en desinfectantes, donde se identificó la Evaluación del Riesgo Ambiental (ERA), la Evaluación de peligros ecotoxicológicos y destino ambiental, la Clasificación y Puntuación Química (CRS), el Análisis de Ciclo de Vida (LCA) y la evaluación del riesgo. Sin embargo, se evidencia la necesidad

de desarrollar enfoques metodológicos que consideren los impactos ambientales de los aceites esenciales, dado al creciente interés en estos como una alternativa a los desinfectantes tradicionales.

Se estableció una metodología integrada para la evaluación del impacto ambiental de aceites esenciales como desinfectantes constituida por los siguientes pasos: Aplicación del método de Clasificación y Puntuación Química (CRS) modificado, el Análisis de Ciclo de Vida (LCA), la Evaluación del Riesgo Ambiental (ERA) y el análisis de impacto. Esto contribuyó al fortalecimiento investigativo de los efectos de los aceites esenciales en el medio ambiente.

La metodología propuesta fue validada por cuatro de los cinco expertos que conformaron el panel correspondiente al método Delphi debido a que fue pertinente y adecuada para lo que se planteó evaluar. No obstante, se realizó el ajuste de esta de acuerdo con las observaciones de los expertos considerando una definición temporal de pasos para la Clasificación y Puntuación Química (CRS) de dos a tres semanas, de cinco semanas para el Análisis de Ciclo de Vida (LCA), de tres semanas para la Evaluación del Riesgo Ambiental (ERA) y de tres semanas para el análisis de impacto. Adicionalmente, se contempló la verificación de fuentes de datos y unidad funcional para los pasos 1 y 3. Por lo que, se desarrolló un enfoque integrado para la evaluación del impacto ambiental.

Referencias

- An, J., Lee, J., Lee, B. K., Salama, E. S., Lee, M., y Ji, M. K. (2023). Decision support algorithm for efficient environmental impact assessments: Focusing on aquatic environment assessment in South Korea. *Environmental Impact Assessment Review*, 100, 107067. <https://doi.org/10.1016/J.EIAR.2023.107067>
- Angulo-Milhem, S., Verrielle, M., Nicolas, M., y Thevenet, F. (2021). Indoor use of essential oils: Emission rates, exposure time and impact on air quality. *Atmospheric Environment*, 244, 117863. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOSENV.2020.117863>
- Ansah, R., Ayepa, E., Shittu, S., Senyo, S., y Wang, J. (2019). Essential oils and their applications - A mini review. *Advances in Nutrition & Food Science*, 4(3), 1–13.
- APH (n.d.). *Environmental Impact Assessment*. Retrieved August 21, 2024, from https://www.aph.gov.au/Parliamentary_Business/Committees/Senate/Environment_and_Communications/Completed_inquiries/1999-02/enviropowers/report/c05
- Bailey, E. S., Curcic, M., Biro, J., Erdogmus, H., Bac, N., y Sacco, A. (2021). Essential Oil Disinfectant Efficacy Against SARS-CoV-2 Microbial Surrogates. *Frontiers in Public Health*, 9. <https://doi.org/10.3389/FPUBH.2021.783832>
- Banyal, S., Aggarwal, R., y Bhardwaj, S. (2019). A review on methodologies adopted during environmental impact assessment of development projects. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(4).
- Caetano, N., Martins, F., y Oliveira, G. (2023). Life cycle assessment of renewable energy technologies. In *The Renewable Energy-Water-Environment Nexus: Fundamentals, Technology, and Policy* (pp. 37–79).

- Casado, I. (2018). *Optimización de la extracción de aceites esenciales por destilación en corriente de vapor*. https://oa.upm.es/49669/1/TFG_IRENE_CASADO_VILLAVERDE.pdf
- CFSPH. (2023). *Disinfection 101 - Key principles of cleaning and disinfection for animal settings*. <https://www.cfsph.iastate.edu/Disinfection/Assets/Disinfection101.pdf>
- Chen, H., Gao, P., Zhu, X., Basyal, S., y Ma, L. (2023). *Monitoring, fate and transport, and risk assessment of organic pollutants in the environment: CREST publications during 2019–2023*. 54(1), 1–12.
- Choi, Y., Kang, M., Huh, D., Chae, W., y Moon, K. (2020). Priority Setting for Management of Hazardous Biocides in Korea Using Chemical Ranking and Scoring Method. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(6).
- Conesa Fernández - Vítora, V. (2010). *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental: Vol. Cuarta edición* (Mundi-Prensa).
- Cruz, J. V., Magalhães, W. L. E., Cademartori, P. H. G., Dorta, D. J., de Oliveira, D. P., y Leme, D. M. (2021). Environmental concerns about the massive use of disinfectants during COVID-19 pandemic: an overview on aquatic toxicity. *ECOTOXICOLOGY AND ENVIRONMENTAL CONTAMINATION*, 16(1), 107–117. <https://doi.org/10.5132/eec.2021.01.14>
- Curran, M. A. (2012). *Life Cycle Assessment Handbook: A Guide for Environmentally Sustainable Products* (Primera edición).
- Dang, C., Wu, Z., y Fu, J. (2023). Environmental Issues Caused by High-Dose Disinfection Need Urgent Attention. *Environment & Health*, 1(1), 3–5. <https://doi.org/10.1021/envhealth.3c00057>

DCCEEW. (1999). *Environment Protection and Biodiversity Conservation Act 1999 (EPBC Act)*.

<https://www.dcceew.gov.au/environment/epbc>

DeLeo, P., Huynh, C., Pattanayek, M., Clark, K., y Pechacek, N. (2020). Assessment of ecological hazards and environmental fate of disinfectant quaternary ammonium compounds. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 206.

Di Lorenzo, T., Avramov, M., Galassi, D., Iepure, S., Mammola, S., Reboleira, A., y Hervant, F. (2023). Chapter 20 - Physiological tolerance and ecotoxicological constraints of groundwater fauna. In *Groundwater Ecology and Evolution* (Segunda edición, pp. 457–479). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819119-4.15004-8>

Ecoinvent. (2024). *Data with purpose*. <https://ecoinvent.org/>

Elsevier, B. V. (2024). *Scopus*. <https://www.elsevier.com/>

Espinoza, G. (2002). *Gestión y Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental*. https://www.grn.cl/fundamentos_evaluacion_impacto_ambiental.pdf

Ferraz, C., Pastorinho, R., Palmeira-de-Oliveira, A., y Sousa, A. (2022). Ecotoxicity of plant extracts and essential oils: A review. *Environmental Pollution*, 292(B).

Función pública. (1993). *Ley 99 de 1993*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=297>

Función pública. (2015). *Decreto 1076 de 2015: Sector ambiente y desarrollo sostenible*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153>

Función pública. (2015). *Ley 1753 de 2015*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=61933#179>

Garmendia, A., Salvador, A., Crespo, C., y Garmendia, L. (2005). *Evaluación del Impacto Ambiental*. Pearson Educación.

- Ghafoor, D., Khan, Z., Khan, A., Ualiyeva, D., y Zaman, N. (2021). Excessive use of disinfectants against COVID-19 posing a potential threat to living beings. *Current Research in Toxicology*, 2, 159. <https://doi.org/10.1016/J.CRTOX.2021.02.008>
- Gu, J. (2024). Further research on essential oils. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 190. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2024.105788>
- Han, J., Kang, H. J., Kim, M., y Kwon, G. H. (2020). Mapping the intellectual structure of research on surgery with mixed reality: Bibliometric network analysis (2000–2019). *Journal of Biomedical Informatics*, 109, 103516. <https://doi.org/10.1016/J.JBI.2020.103516>
- Hemdi, A., Mat, M., y Sharif, S. (2009, March). An indicator for measuring sustainable product design: A review and future research. *Conference Scientific and Social Research*.
- Heshmati, H. M. (2020). Impact of Climate Change on Life. *Environmental Issues and Sustainable Development*. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.94538>
- Hidroar S.A. (2013). *Metodología para el cálculo de las matrices ambientales*. Secretaría de Ambiente y Control Del Desarrollo Sustentable. <https://www.ambiente.chubut.gov.ar/wp-content/uploads/2015/01/Metodolog%C3%ADa-para-el-Calculo-de-las-Matrices-Ambientales.pdf>
- Homyer, K. M., y Mehendale, F. V. (2023). Time to rethink medical disinfection from a planetary health perspective. *Journal of Global Health Reports*, 7. <https://doi.org/10.29392/001c.87862>
- IBM (2024). *Software IBM SPSS*. <https://www.ibm.com/es-es/spss>
- ICONTEC (2007) *NTC - ISO 14040: Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida - Principios y marco de referencia*.

ISO (2006). *ISO 14040:2006(en) Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework*. Online Browsing Platform (OBP).

<https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:en>

ISO (2006). *ISO 14044:2006(en) Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines*. Online Browsing Platform (OBP).

<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14044:ed-1:v1:en>

Kim, S., Seo, M., Na, M., y Kim, J. (2021). Investigation on Combined Inhalation Exposure Scenarios to Biocidal Mixtures: Biocidal and Household Chemical Products in South Korea. *Toxics*, 9(2).

León, J. D. (2002). *Evaluación del Impacto Ambiental de Proyectos de Desarrollo*.

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/62475686/OTRAS_METODOLOGIAS20200325-126378-rfwk9l-libre.pdf?1585245482=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEVALUACION_DEL_IMPACTO_AMBIENTAL_DE_PROY.pdf&Expires=1718172280&Signature=e~Q-0B6I9y~z5zsgUkhd1mmkBEaBCZoradVDB5TB9868moW0h0fkPW1HuvroyKUMM8p aal~gDvw9MN3Zf-dkHtBcSEjniGPbsqLuKzgP5QfrauoX~R7ZhOeSJjWEYKcuiE1Nx7vERSINN3mhAxn-0g~ISb4h3LfORN7YSaPYezqqII~IWt-ir7ujTSqs89SFyFGAVA0ev87NvQAAUIJ2sGguUGWZwgjPF9xLsnQpl~YYSzfWaxucLrpKdyJxNj23mah~k1pR-yTPoi2FwC5b2Sn2lQxOnO6FIYIrKIU3bazXWRmH25QekBZWibSdPLjwPDkrSJd42mC4HNECfBCMvg__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

- Loiseau, E., Junqua, G., Roux, P., y Bellon-Maurel, V. (2012). Environmental assessment of a territory: An overview of existing tools and methods. *Journal of Environmental Management*, 112, 213–225.
- Lou, J., Wang, W., Lu, H., Wang, L., y Zhu, L. (2021). Increased disinfection byproducts in the air resulting from intensified disinfection during the COVID-19 pandemic. *Journal of Hazardous Materials*, 418.
- Maestre, E. (2016). *Diseño de metodología para la evaluación de los impactos ambientales, sociales y económicos durante el ciclo de vida de un proyecto constructivo*. <https://doi.org/10.1/JQUERY.MIN.JS>
- Maloney, B., McKerlie, T., Nasir, M., Murphy, C., Moi, M., Mudalige, P., Naser, N., y Duane, B. (2022). The environmental footprint of single-use versus reusable cloths for clinical surface decontamination: a life cycle approach. *Journal of Hospital Infection*, 130, 7–19.
- Mantilla, N., Jaramillo, J., y Villegas, J. (2023). Análisis de ciclo de vida en aceites esenciales y productos agroindustriales: una revisión de aspectos metodológicos. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 14(2), 251–276. <https://doi.org/10.22490/21456453.6149>
- Martínez, A. (2020). *Química de productos naturales*. Universidad de Antioquia. https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/16148/1/MartinezAlejandro_2020_QuimicaProductosNaturales.pdf
- Martínez, R. (2010). *Propuesta metodológica para la evaluación de impacto ambiental en Colombia*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/7776>
- Martins, G. (2024). Distinguishing between method and methodology in academic research. *Journal of Advance Research in Mathematics And Statistics*, 11(1).

Minciencias (2024). *Hoja de vida Carlos Osorio - CvLAC.*

https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001243098

Minciencias (2024). *Hoja de vida Kelly Navas - CvLAC.*

https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001349962

Minciencias (2024). *Hoja de vida Natalia Niño - CvLAC.*

https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001886073

Minciencias (2024). *Hoja de vida Samuel Monclou - CvLAC.*

https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000094158

Minciencias (2024). *Hoja de vida Viviana Quintero - CvLAC.*

https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000787850

Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (2005). *Resolución 1552 de 2005*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/manual-de-seguimiento-ambiental-de-proyectos/>

Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (2021). *Resolución 1060 de 2021*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-1060-de-2021/>

Ministerio de Medio Ambiente, T. y P. (2000). *Environmental Risk Assessment (ERA): An approach for assessing and reporting environmental conditions.*

- OpenLCA. (2024). *The world's leading, high performance, open source Life Cycle Assessment software*. <https://www.openlca.org/>
- Penagos Dordevic, I. A. (2018). *Análisis multiescala de nanoemulsiones directas* .
<http://hdl.handle.net/1992/40142>
- Perevochtchikova, M. (2013). La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales. *Gestión y Política Pública*, 22(2), 283–312.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-10792013000200001&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Pezantes-Orellana, C., German Bermúdez, F., Matías De la Cruz, C., Montalvo, J. L., y Orellana-Manzano, A. (2024). Essential oils: a systematic review on revolutionizing health, nutrition, and omics for optimal well-being. *Frontiers in Medicine*, 11.
<https://doi.org/10.3389/FMED.2024.1337785>
- Pinilla, C. (2017). *Impacto ambiental* (Primera). Fondo editorial Areandino.
- Plazas, J., Lema, Á., y León, J. (2009). Una propuesta estadística para la evaluación del impacto ambiental en proyectos de desarrollo. *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, 62(1).
- Riva, F., Zuccato, E., Davoli, E., Fattore, E., y Castiglioni, S. (2019). Risk assessment of a mixture of emerging contaminants in surface water in a highly urbanized area in Italy. *Journal of Hazardous Materials*, 361, 103–110.
- Rodríguez, M., Alcaraz, L., y Real, S. (2012). *Procedimientos para la extracción de aceites esenciales en plantas aromáticas*. Instituto Politécnico Nacional 195.
https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/540/1/rodriguez_m.pdf

- Romanello, M., di Napoli, C., Drummond, P., Green, C., Kennard, H., Lampard, P., Scamman, D., Arnell, N., Ayeb-Karlsson, S., Ford, L. B., Belesova, K., Bowen, K., Cai, W., Callaghan, M., Campbell-Lendrum, D., Chambers, J., van Daalen, K. R., Dalin, C., Dasandi, N., ... Costello, A. (2022). The 2022 report of the Lancet Countdown on health and climate change: health at the mercy of fossil fuels. In *The Lancet* (Vol. 400, Issue 10363, pp. 1619–1654). Elsevier B.V. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(22\)01540-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(22)01540-9)
- Sanford, R., y Holtgrieve, D. (2023). *Environmental Impact Assessment in The United State*. Taylor & Francis.
- Scheiner, S. (2023). *Encyclopedia of Biodiversity* (Tercera edición).
- Shin, S., Moon, H. il, Lee, K. S., Hong, M. K., y Byeon, S. H. (2014). A Chemical Risk Ranking and Scoring Method for the Selection of Harmful Substances to be Specially Controlled in Occupational Environments. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(11), 12001. <https://doi.org/10.3390/IJERPH111112001>
- Sindeev, A., y Borda Izquierdo, A. (2019). Nuevos enfoques en la desinfección hospitalaria. *Revista de Investigación de La Universidad Norbert Wiener*, 2(1), 63–82. <https://revistadeinvestigacion.uwiener.edu.pe/index.php/revistauwiener/article/view/217/132>
- Sluser, B., Plavan, O., y Teodusi, C. (2022). Chapter 10 - Environmental impact and risk assessment. In *Assessing Progress Towards Sustainability* (pp. 189–217).
- Swamy, M. K., Akhtar, M. S., y Sinniah, U. R. (2016). Antimicrobial Properties of Plant Essential Oils against Human Pathogens and Their Mode of Action: An Updated Review. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine: ECAM*, 2016, 3012462. <https://doi.org/10.1155/2016/3012462>

- Toro, J., Requena, I., Duarte, O., y Zamorano, M. (2013). A qualitative method proposal to improve environmental impact assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, 43, 9–20. <https://doi.org/10.1016/J.EIAR.2013.04.004>
- Vallée, A. (2024). Green hospitals face to climate change: Between sobriety and resilience. *Heliyon*, 10(2). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24769>
- Van Eck, N. J., y Waltman, L. (2022). *VOSviewer (1.6.18)*. Centre for Science and Technology Studies, Leiden University. <https://www.vosviewer.com/>
- Vanegas Olaya, L. F., y Reyes Ramos, J. L. (2016). *Evaluación de impactos y formulación de propuestas de alternativas de aprovechamiento ambiental con fines de sostenibilidad en la Finca San Miguel de la Universidad de La Salle*. https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1372&context=ing_ambiental_sanitaria
- Vdpsrl (2024). *Environmental Impact Assessment (EIA)*. <https://www.vdpsrl.it/en/servizi/studi-ambientali-e-permitting/2/studi-di-impatto-ambientale/>
- Viloria Villegas, M. I., Cadavid, L., y Awad, G. (2018). Metodología para evaluación de impacto ambiental de proyectos de infraestructura en Colombia. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 28(2), 121–156. <https://doi.org/10.18359/rcin.2941>
- Wexler, P. (2014). *Encyclopedia of toxicology* (Tercera edición).
- White, D., y McDermott, P. (2001). Biocides, drug resistance and microbial evolution. *Current Opinion in Microbiology*, 4(3), 313–317.
- Winska, K., Maczka, W., Tyczko, J., Grabarczyk, M., Czubaszek, A., y Szumny, A. (2019). Essential Oils as Antimicrobial Agents—Myth or Real Alternative? *Molecules*, 24(11).

- Yammine, J., Chihib, N. E., Gharsallaoui, A., Dumas, E., Ismail, A., y Karam, L. (2022). Essential oils and their active components applied as: free, encapsulated and in hurdle technology to fight microbial contaminations. A review. In *Heliyon* (Vol. 8, Issue 12). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12472>
- Yang, Y., Xu, H., Zhang, Y., y Guo, X. (2023). The evolution of China's environmental impact assessment system: Retrospect and prospect from the perspective of effectiveness evaluation. *Environmental Impact Assessment Review*, 101.
- Yemiş, F., y Harmancı, N. Y. (2020). Classification, uses and environmental implications of disinfectants. *Pakistan Journal of Analytical and Environmental Chemistry*, 21(2), 179–192. <https://doi.org/10.21743/pjaec/2020.12.20>
- Zukowska, G., y Durczynska, Z. (2024). Properties and Applications of Essential Oils: A Review. *Journal of Ecological Engineering*, 25(2), 333–340.