

Artículo de Investigación

Estrategia de priorización de peligrosidad de productos químicos

Hazardous Prioritization Strategy for Chemical Products

Saúl Martínez Molina¹: Universidad de los Llanos, Colombia.

smartinezmolina@unillanos.edu.co

Oscar Javier Suarez Medina: Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

osjuaresm@unal.edu.co@unal.edu.co

Fecha de Recepción: 11/06/2024

Fecha de Aceptación: 03/09/2024

Fecha de Publicación: 27/01/2025

Cómo citar el artículo:

Martínez Molina, S. y Suarez Medina, O. J. (2025). Estrategia de priorización de peligrosidad de productos químicos [Hazardous Prioritization Strategy for Chemical Products]. *European Public & Social Innovation Review*, 10, 1-20. <https://doi.org/10.31637/epsir-2025-1356>

Resumen:

Introducción: La gestión del uso de seguro de las sustancias químicas en su ciclo de vida es crítico, los países se fortalecen implementando diversas políticas mejorando la gestión de sustancias químicas. Este estudio clasifica y prioriza sustancias químicas de uso industrial SQI según el Sistema Globalmente Armonizado (SGA), movilidad ambiental y salud ocupacional, alineándose con políticas nacionales y promoviendo la química verde. **Metodología:** Para la priorización, se aplicaron métodos que categorizan sustancias según consumo, movilidad ambiental, riesgos ocupacionales y SGA. Se utilizaron datos de consumo interno y externo con datos de clasificaciones industriales CIIU y códigos arancelarios respectivamente, para entender los diferentes usos y formas de exposición de cada sustancia. **Resultados:** La movilidad de sustancias químicas: 26% agua, 24% suelo, 11% biota animal, 9% aire, 14% biota vegetal. Dodecibenceno y cloruro de vinilo destacan por su peligrosidad y volatilidad. **Discusión:** La alta movilidad de sustancias como dodecibenceno, cloruro de vinilo y Percloretileno requiere estrictos controles, este último es utilizado en limpieza en seco, causa cáncer y problemas de salud, afectando trabajadores y comunidades. **Conclusiones:** El estudio sobre la movilidad ambiental de sustancias químicas en Colombia resaltó deficiencias en datos y políticas, subrayando la necesidad de mejoras y posibles aplicaciones globales para gestionar riesgos.

¹ Autor Correspondiente: Saúl Martínez Molina. Universidad de los Llanos (Colombia).

Palabras clave: salud ambiental; movilidad ambiental; estrategias de gestión de productos químicos; química verde; políticas de uso de productos químicos, sistema globalmente armonizado, salud ocupacional, índice de priorización.

Abstract:

Introduction: The management of the safe use of chemical substances throughout their lifecycle is critical. Countries are strengthening their policies to improve chemical management. This study classifies and prioritizes industrial chemical substances (ICS) according to the Globally Harmonized System (GHS), environmental mobility, and occupational health, aligning with national policies and promoting green chemistry. **Methodology:** For prioritization, methods categorizing substances by consumption, environmental mobility, occupational risks, and GHS were applied. Internal and external consumption data were used with CIU industrial classifications and tariff codes, respectively, to understand the different uses and exposure forms of each substance. **Results:** The mobility of chemical substances: 26% water, 24% soil, 11% animal biota, 9% air, 14% plant biota. Dodecylbenzene and vinyl chloride are notable for their hazards and volatility. **Discussion:** The high mobility of substances like dodecylbenzene, vinyl chloride, and perchloroethylene requires strict controls. The latter is used in dry cleaning, causing cancer and health issues, affecting workers and communities. **Conclusions:** The study on the environmental mobility of chemical substances in Colombia highlighted data and policy deficiencies, emphasizing the need for improvements and possible global applications for risk management.

Keywords: environmental health, environmental mobility, chemical management strategies, green chemistry, chemical use policies, globally harmonized system, occupational Health, prioritization index.

1. Introducción

Entre las políticas internacionales más avanzadas para abordar problemas relacionados con sustancias químicas en todas las etapas de su ciclo de vida se encuentra el SAICM (Enfoque Estratégico para la Gestión Internacional de Sustancias Químicas), iniciado en la Primera Cumbre de la Tierra en Estocolmo en 1972 (Foladori *et al.*, 2013). Muchos países están trabajando en el fortalecimiento de la gobernanza nacional para implementar el SAICM, con el objetivo de mejorar la gestión racional de sustancias químicas (Lopez *et al.*, 2012).

Diversos estudios han abordado el peligro de las sustancias químicas, como las guías de manejo seguro y gestión ambiental y estudios de necesidades de salud ocupacional y ambiental (Rodríguez-Villamizar *et al.*, 2015). Sin embargo, a nivel nacional, solo el Perfil Nacional de Sustancias Químicas Vol. II ha abordado esta problemática siguiendo las directrices del Sistema Globalmente Armonizado (SGA) (Suárez *et al.*, 2017). Este estudio busca ir más allá, clasificando y priorizando estas sustancias no solo según los parámetros de peligro del SGA, sino también según su movilidad ambiental y los principales parámetros de salud ocupacional.

Detallar los peligros, la movilidad y los umbrales de exposición de las sustancias químicas permite priorizar su gestión y uso, facilitando campañas informativas, programas de gestión de riesgos y planes de contingencia. También alerta sobre impactos ambientales y verifica los peligros para los trabajadores, alineándose con las políticas nacionales de gestión de riesgos químicos (Mbonu y Ben, 2021).

Los nuevos desafíos en el uso de sustancias químicas requieren conciencia de sus peligros. Por ello, los países siguen directrices internacionales y participan en iniciativas como SAICM, el Sistema Globalmente Armonizado, y varios convenios de la OCDE, la Unión Europea, Naciones Unidas y la OIT para promover un uso seguro y racional de sustancias químicas (Silvestre *et al.*, 2017).

Para cumplir con los acuerdos internacionales, mantenerse en organismos internacionales y proteger la salud de sus ciudadanos, los países deben estandarizar su conocimiento sobre seguridad química. Este documento busca cuantificar y priorizar sustancias químicas según su movilidad ambiental, salud ocupacional y peligros del SGA, utilizando bases de datos gubernamentales y programas de simulación. La identificación de sustancias priorizadas es fundamental para aplicar estrategias de química verde y asegurar un manejo más seguro y sostenible de estas sustancias (Murcia *et al.*, 2023).

2. Metodología

La cuantificación de sustancias químicas se realizó con datos del DANE y DIAN, enfocándose en Sustancias Químicas de Uso Industrial (SQI) puras. Se consideraron las cifras de consumo (DANE) e importación (DIAN). El estudio analizó la movilidad ambiental, los riesgos según el SGA (Suárez *et al.*, 2017) y las enfermedades ocupacionales relacionadas.

2.1. Priorización por Movilidad Ambiental

Para seleccionar los valores de Movilidad Ambiental, se consideraron variables como solubilidad, constante de Henry, $\log(K_{OC})$, $\log(K_{OW})$, $\log(K_{OA})$ y tiempo de biodegradación en agua. La información proviene principalmente de ECHA y ChemSpider, complementada con datos experimentales y modelos de estimación (KOWWINTM, ECOSARTM, KOAWIN, AEROWINTM, HENRYWINTM, WSKOWWINTM, BIOWINTM y KOCWINTM). Se recopiló información sobre sustancias químicas puras de uso industrial para determinar el Índice de Priorización de Movilidad Ambiental, definiendo la afinidad en agua, aire, suelo, biota y potencial de biodegradación (Tabla 1).

Tabla 1.

Afinidad de las sustancias químicas en los elementos ambientales

Afinidad	Agua (g/L)	Aire (atm.m ³ /mol)	Suelo	Biota Animal	Biota Vegetal	Biodegradación En agua(d)	Puntaje primario
Alta	>1	>10	>5	>5	>8	<4,1	5
Media alta	10 ⁻² -1	10 ⁻¹ -1	4-5	3,5-5	7-8	4,1-8,67	4
Media	10 ⁻³ -10 ⁻²	10 ⁻² -10 ⁻¹	2-4	3-3,5	5-7	8,67,-15,3	3
Media baja	10 ⁻⁵ -10 ⁻³	10 ⁻⁴ -10 ⁻²	1-2	1-3	4-5	15,3-60,2	2
Baja	<10 ⁻⁵	<10 ⁻⁴	<1	<1	<4	>60,2	1

Fuente: Elaboración propia (2024), adaptado de Allen & Shonnard (2002).

La forma de calcular el índice de priorización del Movilidad Ambiental está determinada por la Ecuación (1) y los valores de importancia que se muestran en la Tabla 2. Para determinar el índice de priorización de Movilidad Ambiental (I_{MA}) se multiplica el valor del factor de importancia por el puntaje primario cada elemento ambiental y posteriormente se normaliza dividiendo por el mayor valor obtenido en el numerador.

$$I_{MAi} = \frac{(PP_{agua} * X_{agua} + PP_{aire} * X_{aire} + PP_{suelo} * X_{suelo} + PP_{BA} * X_{BA} + PP_{BV} * X_{BV} + PP_{TB} * X_{TB})}{\text{Mayor valor obtenido de en la base de datos}(PP_{agua} * X_{agua} + PP_{aire} * X_{aire} + PP_{suelo} * X_{suelo} + PP_{BA} * X_{BA} + PP_{BV} * X_{BV} + PP_{TB} * X_{TB})} \quad (1)$$

Donde: I_{MAi} : es el índice de priorización por movilidad ambiental. PP_x : indica el puntaje primario por cada uno de los 6 elementos ambientales presentados en la Tabla 1; estos puntajes primarios varían de 1 a 5 con base en la tabla. X_x : indica el valor de importancia de cada uno de los puntajes primarios de acuerdo con lo establecido en la Tabla 2.

Tabla 2.

Valores de factor de importancias para los valores de afinidad a los elementos ambientales

Elemento ambiental	Valor de importancia
Afinidad del agua (X_{agua})	0,10
Afinidad del aire (X_{aire})	0,30
Afinidad del suelo (X_{suelo})	0,15
Afinidad a la biota animal (X_{BA})	0,20
Afinidad a la biota vegetal (X_{BV})	0,20
Biodegradabilidad en agua en días (X_{TB})	0,05

Fuente: Elaboración propia (2024), adaptado de Martínez (2019)

Se da mayor importancia a los elementos ambientales ligados a las vías de entrada de contaminantes al organismo, siendo la vía respiratoria la más crítica, ya que las sustancias inhaladas ingresan a los pulmones y luego a la sangre, exponiendo todos los órganos internos (Zaccone *et al.*, 2015).

La afinidad a la biota animal y vegetal, medida por el Log (K_{OW}) y Log (K_{OA}), indica la capacidad de una sustancia para bioacumularse en especies y biomagnificarse en la cadena trófica, afectando a humanos, animales y plantas con efectos adversos a la salud, el medio ambiente y los alimentos [14]. Un alto K_{OW} sugiere solubilidad en octanol y baja en agua, impidiendo la eliminación por orina o sudor, acumulándose en el tejido graso y biomagnificándose (Daina *et al.*, 2014).

La afinidad al suelo mide la capacidad de adsorción, indicando el potencial de convertirse en contaminantes del suelo y sedimentos acuáticos, afectando hogares y vías respiratorias (Narváez Valderrama, J.A. Palacio Baena, 2015). La solubilidad, con un valor de importancia de 0,10, refleja la capacidad de disolverse en agua y afectar el medio ambiente, siendo peligroso para la salud a través de la ingesta de agua y alimentos (Chen *et al.*, 2018).

Finalmente, la biodegradación ($X_{TB}=0,05$) resalta las sustancias químicas con dificultad para degradarse en agua, afectando a los organismos acuáticos, siendo de interés ambiental, aunque no afecte directamente al ser humano (Raamsdonk *et al.*, 2020).

Como ejemplo se toma el Dodecibenceno y se consideran los datos de la Tabla 2 para cada uno de los parámetros analizados Tabla 1:

Tabla 3.

Datos de movilidad en elementos ambientales para el dodecilbenceno

Elemento ambiental	Valor	Puntaje	Elemento ambiental	Valor	Puntaje
Agua(solubilidad(g/L))	0,00001	2	B. Animal (Log (K _{OW}))	8,65	5
Aire (atm-m ³ /mol)	0,1393	4	B. Vegetal (Log (K _{OA}))	7,911	4
Suelo (Log (K _{OC}))	5,373	5	Biodegradación (días)	15	3

Fuente: Elaboración propia (2024).

El índice de movilidad para el dodecilbenceno se calcula de la siguiente manera, usando la Ecuación (1):

$$I_{MA_{dodecilbenceno}} = \left(\frac{(2 * 0,1) + (4 * 0,3) + (5 * 0,15) + (5 * 0,2) + (4 * 0,2) + (3 * 0,05)}{4,1} \right) = 1,00 \quad (1)$$

En el listado de sustancias químicas analizadas en el índice de priorización de movilidad ambiental, el dodecilbenceno es la sustancia con mayor valor para el índice de movilidad ambiental, por lo tanto, muestra un índice de 1, está sustancia química muestra tener gran facilidad de entrar por las vías respiratorias y acumularse en el organismo. Al analizar el Dodecilbenceno se tiene que puede ser muy tóxico para el medio ambiente y puede causar irritación en la piel al ser humano, se observa que no es una sustancia química con un alto grado de peligro, pero si está ligado a varias enfermedades de origen laboral, al pertenecer a los bencenos es una sustancia que al reaccionar y perder su ramificación podría llegar a ser altamente nociva debido a su estructura (Stibany *et al.*, 2020).

2.2. Priorización por enfermedades ocupacionales

La Clasificación Estadística Internacional de Enfermedades (ICD), iniciada en 1930 por la Organización Mundial de la Salud, cataloga enfermedades para estadísticas de morbilidad y mortalidad. Ahora en su décima edición, con la undécima publicada pero aún no vigente, el ICD relaciona enfermedades con diversos agentes, incluidos productos químicos, que son el foco de este trabajo(Hohl *et al.*, 2014).

La Tabla 4 muestra los 15 grupos de enfermedades ocupacionales establecidos por el Decreto 1477 de 2014 de la República de Colombia asociados con sustancias químicas; este decreto se basa en la información registrada en el ICD-10, que se utiliza para clasificar enfermedades y otros problemas de salud registrados en diversos tipos de registros vitales y de salud (17).

Al cruzar el SQI puro encontrado en las bases de datos (438) con la tabla de enfermedades clasificadas por grupos o categorías de acuerdo con el Decreto 1477 de 2014 de la República de Colombia, se encontraron 145 SQI asociados con enfermedades(Ministerio de Trabajo, 2014).

Tabla 4.

Tabla de enfermedades clasificadas por grupos o categorías de acuerdo con el Decreto 1477 de 2014, asociadas a SQI

Enfermedad	X _{so}	Enfermedad	X _{so}
I. Infecciosas y parasitarias	-	IX. Del sistema respiratorio	0,046
II. Cáncer de origen laboral	0,402	X. Del sistema digestivo y el hígado	0,046
III. No malignas del sistema hematopoyético	0,046	XI. De la piel y tejido subcutáneo	0,046

VI. Trastornos mentales y del comportamiento	0,046	X. Del sistema musculoesquelético y tejido conjuntivo	0,046
V. Del sistema nervioso	0,046	XI. Del sistema genitourinario	0,046
VI. Del ojo y sus anexos	0,046	XII. Intoxicaciones	0,046
VII. Del oído y problemas de fonación	-	XIII. Del sistema endocrino	0,046
VIII. Del sistema cardiovascular y cerebrovascular	0,046	Otras	0,046

Fuente: Elaboración propia (2024).

Para la priorización por índice de salud ocupacional se tuvo en cuenta valores de importancia por cada categoría de enfermedad asociada a la salud ocupacional; se realizó la asignación de un factor de 0,402 o un 40,2% de importancia para las SQI asociadas a la categoría de enfermedad Cáncer de Origen Laboral en la ponderación y las otras se les dio un factor de importancia equitativo. Este porcentaje también se fundamenta en la Resolución 0312 de 2019 del Ministerio del Trabajo de la República de Colombia, en esta se establece en el capítulo 3 que ya es mandatorio identificar y hacer explícito si se trabaja con sustancias carcinogénicas grados 1 y 2 y con sustancias de toxicidad aguda según SGA en las categorías 1 y 2, para empresas con más de 50 trabajadores clasificadas con riesgo I,II,III, IV y V y para empresas de menos de 50 trabajadores clasificadas en riesgo IV y V (Ministerio del Trabajo, 2019).

La forma de calcular el índice de priorización por salud ocupacional está determinada por la Ecuación (2) y la Tabla 5, las cuales se muestran continuación. Para determinar el índice de priorización de salud ocupacional (I_{SO}) se multiplica el valor del factor de importancia (X_{SO}) por el número de enfermedades relacionadas con una categoría de enfermedad según el Decreto 1477 de 2014 (S_A) y se normalizan los valores.

$$I_{SOi} = \frac{\sum_{j=1}^{nSA} (X_{soj} * SA_j)}{\text{Mayor valor obtenido de } \sum_{j=1}^{nSA} (X_{soj} * SA_j)} \quad (2)$$

Donde:

I_{SOi} : Es el índice de salud ocupacional para la SQI "i".

SA_j : Número de enfermedades asociadas a una categoría de enfermedad.

X_{soj} : Valor de importancia de cada categoría de enfermedad.

$\sum_{j=1}^{nSA} (X_{soj} * SA_j)$: Es la sumatoria de cada enfermedad asociadas a la SQI "i" (SA) multiplicado por el factor de importancia (X_{SO}) de acuerdo con la categoría de la enfermedad (ver Tabla 5).

*Mayor valor obtenido de $\sum_{j=1}^{nSA} (X_{soj} * SA_j)$* : Es el mayor valor obtenido de la variable anterior con base en las 145 SQI que fueron clasificadas, para el año de estudio fue de 9,316.

Tabla 5.

Puntuación del yodo por presencia de grupos de enfermedades de acuerdo con el Decreto 1477 de 2014

Categoría de la enfermedad según el Decreto 1477 de 2014	X_{SO}	S_A
Cáncer de origen laboral	0,402	0
Enfermedades no malignas del sistema hematopoyético	0,046	0
Sistema endocrino	0,046	0
Trastornos mentales y del comportamiento	0,046	0
Enfermedades del sistema nervioso	0,046	0
Enfermedades del ojo y sus anexos	0,046	2
Enfermedades del sistema cardiovascular y cerebro vascular	0,046	0

Enfermedades del sistema respiratorio	0,046	8
Enfermedades del sistema digestivo y el hígado	0,046	0
Enfermedades de la piel y tejido subcutáneo	0,046	9
Enfermedades del sistema musculoesquelético y tejido conjuntivo	0,046	0
Enfermedades del sistema genitourinario	0,046	0
Intoxicaciones	0,046	1
Otras	0,046	0

Fuente: Elaboración propia (2024).

Aplicando la Ecuación (2) para el yodo como ejemplo de SQI, se tiene que el índice de priorización por salud ocupacional es de 0,92.

$$I_{So_{yodo}} = \frac{(0,046 * 2) + (0,046 * 8) + (0,046 * 9) + (0,046 * 1)}{9,32} = 0,10 \quad (2)$$

El índice de priorización anterior indica en que porcentaje está asociada la SQI a enfermedades de origen laboral, priorizando el cáncer con un mayor factor de importancia. El valor de 0,10 para el yodo indica que realmente esta sustancia está asociada a pocas enfermedades, se tiene 9 enfermedades asociadas a la piel y tejido subcutáneo, como por ejemplo dermatitis alérgica por contacto a adhesivos, drogas, alimentos, cosméticos u otros agentes químicos que puedan tener cierto porcentaje de yodo. También se destaca la influencia de esta en el sistema respiratorio ya que se asocia a 8 enfermedades entre ellas Bronquitis, Laringotraqueitis aguda, Edema pulmonar químico entre otras enfermedades el sistema respiratorio, este índice básicamente muestra el porcentaje de enfermedades que se puede llegar a adquirir por la alta exposición a SQI, al mismo tiempo resalta la importancia de los equipos de protección personal (Zimmermann y Galetti, 2015).

2.3. Priorización por peligro según el Sistema Globalmente Armonizado (SGA)

Se asignaron los peligros según el Sistema Globalmente Armonizado, a las 438 sustancias teniendo como base eChemPortal de la OECD (OECD, 2022), en este portal se pueden encontrar fichas de seguridad de sustancias químicas de diversas bases de datos a nivel mundial y a partir de ahí se extraen las frases H de las sustancias químicas para así clasificarlas por los peligros y la categoría de peligro que éstas posean y poder priorizar las sustancias químicas que puedan llegar a generar un mayor peligro para la salud.

El índice de priorización de sustancias químicas por Sistema Globalmente Armonizado se determina a partir de los 3 componentes de peligrosidad, los cuales son peligros físicos A_{PF} , peligros a la salud A_{PS} y peligros al medio ambiente A_{PA} . Para esto se tomará como base lo establecido en el Perfil Nacional de Sustancias Químicas Vol. II, pero asignando un mayor valor a los peligros a la salud humana, priorizando como se ha trabajado en los otros índices los efectos adversos al ser humano, Tabla 6.

Tabla 6.

Ponderación de Valores para los componentes de peligro según el SGA

Componente de peligro	Ponderación por componente	Componente de peligro	Ponderación por componente
A _{PF}	0,40	A _{PA}	0,10
A _{PS}	0,50		

Fuente: Elaboración propia (2024).

Se establece la Ecuación (3) para determinar el índice de priorización de sustancias químicas por peligros asociados al Sistema Globalmente Armonizado.

$$I_{SGAi} = ((A_{PF} * I_{PFi}) + (A_{PS} * I_{PSi}) + (A_{PA} * I_{PAi})) \quad (3)$$

Donde I_{SGAi} : se define como el índice de priorización para la sustancia química "i" A_{PS} , A_{PF} , A_{PA} : se definen como los valores de ponderación para componente de peligro para las 3 clases de peligros que plantea el Sistema Globalmente Armonizado, peligros a la salud, físicos y al medio ambiente respectivamente. I_{PS} , I_{PF} , I_{PA} : Se definen como los índices de priorización por peligro a la salud, físicos y al medio ambiente respectivamente. Se toman del Perfil Nacional de Sustancias Químicas Vol. II las siguientes ecuaciones para determinar los índices de peligro físico (I_{PF}) (Ecuación (4)), peligro al medio ambiente (I_{PA}) (Ecuación (5)) y peligros a la salud (I_{PS}) (Ecuación (6)), con sus respectivos valores de importancia, listados en las Tablas 9, 10 y 11.

$$I_{PFj} = \sum_{i=1}^{n_{PF}} X_{PFi} * PF_i \quad (4)$$

$$I_{PAj} = \sum_{i=1}^{n_{PA}} X_{PAi} * PA_i \quad (5)$$

$$I_{PSj} = \sum_{i=1}^{n_{PS}} X_{PSi} * PS_i \quad (6)$$

Los 3 índices por peligro presentan la misma estructura en la ecuación donde: I_{PFj} , I_{PAj} , I_{PSj} : se definen como los índices de priorización por peligros físicos, al medio ambiente y a la salud respectivamente, para una SQI "j" X_{PFi} , X_{PAi} , X_{PSi} : se definen como los valores del factor importancia de los peligros físicos, al medio ambiente y a la salud respectivamente (Tabla 9, Tabla 10 y Tabla 11). PF_i , PA_i , PS_i : se definen como el valor asignado a los peligros físicos, al medio ambiente y a la salud respectivamente, con base a su categoría como se muestra en ejemplo de la tabla 8; estos datos han sido adaptados de anexos 12,13 y 14 del Perfil Nacional de Sustancias Químicas Vol. II (Anexo 5.4)(Suárez *et al.*, 2017), agregando el peligro físico Explosivos insensibilizados(Tabla 8).

Tabla 8.

Valores asignados al peligro físico explosivos insensibilizados

Peligro	Explosivos insensibilizados			
	1	2	3	4
Categoría	1	2	3	4
Frase de Peligro de	Peligro de	Riesgo de	Riesgo de	Peligro de

peligro	incendio, explosión o proyección; mayor riesgo de explosión si se reduce el agente desensibilizante	incendio o proyección; mayor riesgo de explosión si se reduce el agente desensibilizante	incendio o proyección; mayor riesgo de explosión si se reduce el agente desensibilizante	incendio; mayor riesgo de explosión si se reduce el agente desensibilizante
Criterio de categoría	Explosivos desensibilizados con una tasa de combustión corregida (Ac) igual o superior a 300 kg / min pero no más de 1.200 kg / min	Explosivos desensibilizados con una tasa de combustión corregida (Ac) igual o superior a 140 kg / min pero no más de 300 kg / min	Explosivos desensibilizados con una tasa de combustión corregida (Ac) igual o superior a 60 kg / min pero no más de 140 kg / min	Explosivos desensibilizados con una tasa de combustión corregida (Ac) inferior a 60 kg / min
Valor PF asignado	1	0,75	0,50	0,25

Fuente: Elaboración propia (2024) adaptado de Naciones Unidas (United Nations, 2017).

A continuación, se presentan las tablas que relacionan los factores de importancia relativo a los peligros físicos, peligros a la salud y peligros al medio ambiente; con base en estas tablas se muestra el cálculo de los índices asociados al Sistema Globalmente Armonizado para el propileno. En la Tabla 9 se encuentra una propuesta modificada con base en la metodología sugerida por el Perfil Nacional de Sustancias Químicas Vol. II, debido a que el Sistema Globalmente Armonizado aumento la cantidad de peligros físicos en la Revisión 7 de 2017.

Tabla 9.

Valores del factor de importancia relativa a los peligros físicos

Peligros físicos	X_{PF}	Peligros físicos	X_{PF}
Explosivos	0,18	Sólidos pirofóricos	0,05
Gases Inflamables	0,02	Aerosoles	0,03
Sustancias y mezclas que experimentan calentamiento espontáneo	0,03	Sustancias y mezclas que en contacto con el agua desprenden gases inflamables	0,05
Gases Comburentes	0,05	Líquidos comburentes	0,05
Gases a Presión	0,05	Sólidos comburentes	0,05
Líquidos Inflamables	0,1	Peróxidos orgánicos	0,05
Sólidos Inflamables	0,1	Explosivos desensibilizados	0,01
Sustancias y mezclas que reaccionan espontáneamente	0,1	Sustancias y mezclas corrosivas para metales	0,02
Líquidos pirofóricos	0,05		

Fuente: Elaboración propia (2024).

Aplicando la Ecuación (4) se determina el índice por peligro físico para el propileno de la siguiente manera, este solo posee dos peligros físicos relacionados con ser un gas licuado de categoría 1 y un gas inflamable categoría 1:

$$I_{PF_j} = \sum_{i=1}^{n_{PF}} X_{PF_i} * PF_i \quad (4)$$

$$I_{PF_{propileno}} = (0,02 * 1) + (0,05 * 1) = 0,07 \quad (4)$$

Tabla 10.

Valores del factor de importancia relativa a los peligros al medio ambiente

Peligros y propiedades de interés ambiental	X_{PA}	Peligros y propiedades de interés ambiental	X_{PA}
Peligros a corto Plazo para el medio ambiente acuático	0,35	Persistencia	0,35
Peligros para la capa de ozono	0,00	Bioacumulación	0,30

Fuente: Elaboración propia (2024).

En la Tabla 10, se introdujeron variables no contempladas en el Sistema Globalmente Armonizado (SGA) según el Perfil Nacional de Sustancias Químicas Vol. II, debido a que el SGA incluye pocos peligros ambientales. Los peligros a la capa de ozono según el SGA solo aplican a sustancias del Protocolo de Montreal, de las cuales se encontraron dos (TCC y bromuro de metilo) con permisos especiales. Dado que otras sustancias no están en el protocolo, no tienen este peligro, y darle un valor disminuiría la importancia de otras sustancias. Este trabajo también busca destacar sustancias químicas que han pasado desapercibidas, aunque las SAO ya tienen un manejo estricto. Aplicando la Ecuación (5), se determina el índice de peligro ambiental para el propileno, que solo posee un peligro acuático.

$$I_{PA_j} = \sum_{i=1}^{n_{PA}} X_{PA_i} * PA_i \quad (5)$$

$$I_{PA_{propileno}} = (0,35 * 0,33) = 0,12 \quad (5)$$

Tabla 11.

Valores del factor de importancia relativa a los peligros a la salud.

Peligros para la salud	X_{PS}	Peligros para la salud	X_{PS}
Toxicidad aguda por ingestión	0,20	Mutagenicidad en células germinales	0,09
Toxicidad aguda vía cutánea	0,05	Carcinogenicidad	0,09
Toxicidad aguda por inhalación	0,05	Toxicidad para la reproducción	0,09
Corrosión/irritación cutánea	0,07	Toxicidad sistémica específica de órganos diana tras una exposición única	0,07
Lesiones oculares graves irritación ocular	0,03	Toxicidad sistémica específica de órganos tras exposición repetida	0,05
Sensibilización respiratoria	0,08	Peligro por aspiración	0,05
Sensibilización cutánea	0,05		

Fuente: Elaboración propia (2024).

En los peligros a la salud establecidos en la Tabla 11 no se realizó ninguna modificación a lo planteado anteriormente.

Aplicando la Ecuación (6) se determina el índice por peligro a la salud para propileno considerando que, este está ligado a la toxicidad sistémica específica de órganos diana tras una exposición única en la categoría 3[27].

$$I_{PS_j} = \sum_{i=1}^{n_{PS}} X_{PS_i} * PS_i \quad (6)$$

$$I_{Propileno} = (0,07 * 0,33) = 0,02 \quad (6)$$

Por último, se aplica la Ecuación (7), y determina el índice por Sistema Globalmente Armonizado para el propileno:

$$I_{SGA_i} = A_{PF}I_{PF_i} + A_{PS}I_{PS_i} + A_{PA}I_{PA_i} = (0,4 * 0,07) + (0,1 * 0,12) + (0,5 * 0,02) = 0,05 \quad (7)$$

El índice de priorización del Sistema Globalmente Armonizado (SGA) clasifica las sustancias químicas industriales según sus peligros inherentes, proporcionando una evaluación rápida basada en estudios internacionales. Al combinar este índice con otros parámetros, se identifican sustancias con alto potencial de entrar al organismo y al medio ambiente, determinando cuáles pueden causar enfermedades latentes o representar amenazas directas a la salud humana. Esto ayuda a identificar zonas y sectores de alto riesgo por la exposición a sustancias químicas.

El índice de priorización del propileno es bajo, ya que es levemente tóxico y su inflamabilidad depende de una chispa. Aunque su peligrosidad es menor comparada con otras sustancias, su alta movilidad ambiental facilita su entrada al organismo, aumentando el riesgo de intoxicación rápida.

3. Resultados

3.1. Generación de índices por Movilidad Ambiental

La distribución porcentual de la movilidad por elementos ambientales de las sustancias químicas de uso industrial elaborada a partir de un puntaje máximo de 6057, el cual obedece a la suma de los puntajes parciales, de las sustancias químicas; este presente que se distribuye en un 26% al agua, 24% al suelo, 11% biota animal, 9% al aire, 14% biota vegetal, 26% con tendencia a la biodegradación. En ésta se observa que las sustancias químicas pueden ser principalmente disueltas en el agua (26%), o adsorbidas por el suelo (24%), pero, también que muchas son biodegradables o tienen alguna incapacidad de poder biodegradarse en el agua (16%).

La movilidad a elementos ambientales del agua y el suelo suman el 50%, lo cual se ve reflejado en una afectación a los cuerpos de agua, la agricultura y los alimentos de consumo entre otras preocupaciones de interés; no con menos importancia, el 11% de las SQI tienen movilidad a la biota animal, la cual se ve afectada por la bioacumulación en una especie y por biomagnificación en una cadena trófica, el hombre puede ser el eslabón de la cadena que está en más alto lugar y en el que se encontrarían las mayores concentraciones. Esto es grave si se tiene por ejemplo que se está bioacumulando en el ganado o los peces, pues en conclusión se están viendo afectados todos los alimentos de consumo.

La figura 1 muestra la facilidad con la que las sustancias químicas de uso industrial pueden contaminar los cuerpos de agua y los suelos de país y que estos pueden ser difíciles de biodegradarse obstruyendo el libre desarrollo de la vida, demostrando un peligro latente en

salud pública, en caso de que las sustancias no se controlen adecuadamente, ya que estas luego pueden llegar a entrar al organismo por las diferentes vías de acceso

Entre las cinco primeras sustancias químicas priorizadas por movilidad ambiental, destacan el dodecilbenceno, cloruro de vinilo, nonilfenol y toluendiisocianato, que presentan índices altos o moderados en salud ocupacional y Sistema Globalmente Armonizado (SGA).

El dodecilbenceno tiene alta volatilización en el aire, adsorción en el suelo y absorción en la biota, asociado a peligros como cáncer laboral, trastornos mentales, enfermedades del sistema hematopoyético, sistema nervioso, ojo, intoxicaciones y tejido cutáneo. El cloruro de vinilo es altamente peligroso según el SGA y presenta alto índice en salud ocupacional, relacionado con cáncer laboral, enfermedades del sistema epitelial, hematopoyético, endocrino, nervioso, respiratorio, cardiovascular, digestivo, muscular, esquelético y genitourinario, además de daño en órganos específicos.

El nonilfenol, con alta afinidad al suelo y biota, tiene un índice representativo en el SGA por toxicidad en ingestión, reproducción, órganos específicos y corrosión/irritación cutánea y ocular, implicando alto riesgo a la vida. El toluendiisocianato, con alta movilidad en agua, suelo y tejidos, es considerado mortal por ingestión, corrosivo y relacionado con cáncer y daños en órganos internos según el SGA.

Tabla 12.

Top 5 de del ranking de puntajes para SQI priorizadas por movilidad ambiental

SQI	I _{MA}	I _{SO}	I _{SGA}
1.Dodecilbenceno	1,00	0,21	0,06
2.Ácido oleico	0,90	0,00	0,02
2.Cloruro de vinilo	0,90	0,88	0,17
3.Alcohol estearílico	0,88	0,00	0,00
4.Toluendiisocianato	0,85	0,01	0,25
4.Alcohol cetílico	0,85	0,00	0,00
4.Alcohol laurílico	0,85	0,00	0,06
4.Nonilfenol	0,85	0,04	0,15
4.Pentaclorofenol (ISO)	0,85	0,01	0,20
5.Fosfato de tris (2,3dibromopropilo)	0,84	0,05	0,07
5. Hexano	0,84	0,00	0,15

Fuente: Elaboración propia (2024).

Es válido recordar que el índice se calcula con un promedio ponderado, en el cual, la afinidad al aire tiene mayor importancia o ponderación, pero, la afinidad a los otros elementos ambientales también suma al índice.

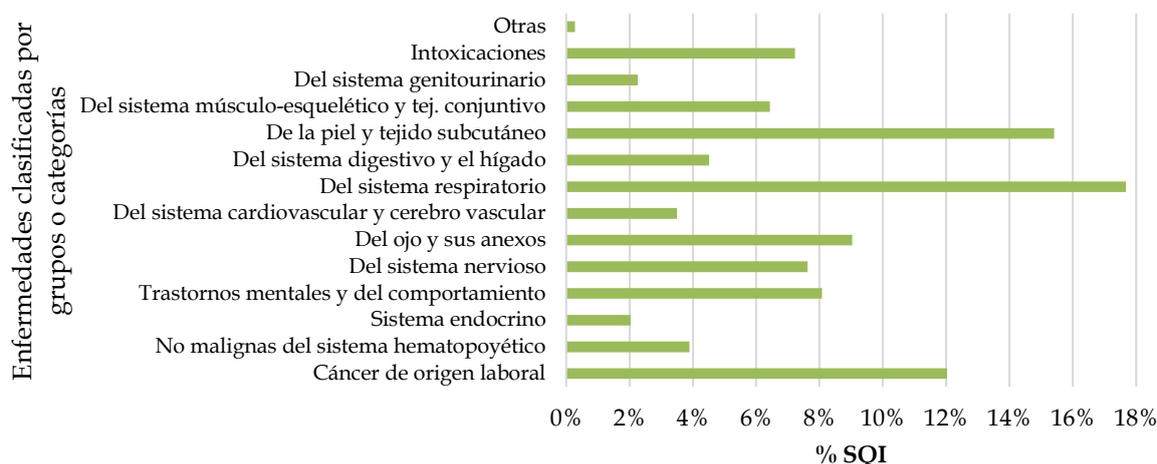
3.2. Generación de índices por Salud Ocupacional

En la Figura 1 elaborada a partir de un total 1771 enfermedades a asociadas a las 154 sustancias químicas se observa que, entre las enfermedades asociadas a las sustancias químicas, el sistema respiratorio es el más afectado; esto se debe a que es la principal vía de acceso a nuestro organismo en el ámbito laboral, ya que la mayoría de estas sustancias desprenden vapores, polvos o microfibras los cuales luego serán inhalados; este resultado refuerza la importancia de usar protección respiratoria en la industria (Neumann *et al.*, 2013).

Seguido del sistema respiratorio se encuentran las enfermedades de la piel y tejido subcutáneo; estas estadísticas son muy importantes ya que dan peso a la necesidad de cubrir la piel al trabajar con sustancias químicas, la cual generalmente es ignorada al pensar que las sustancias químicas solo entraran al organismo por inhalación u ojos.

Figura 1.

Distribución porcentual de las 154 sustancias químicas asociadas a enfermedades clasificadas por grupos o categorías



Fuente: Elaboración propia (2024).

En la Tabla 13 se presentan las sustancias químicas de uso industrial priorizadas por índice de salud ocupacional, relacionadas todas con cáncer de origen laboral entre otras enfermedades ocupacionales. En esta tabla se presentan algunas de las sustancias químicas listadas en el Perfil Nacional de Sustancias Químicas Vol. II. Es clave mirar la columna relacionada a la movilidad ambiental de dichas sustancias, puesto en todas estas se presentan una alta afinidad a los elementos ambientales, específicamente en el agua y en el suelo; al descuidarse estas sustancias se podría llegar a suelos y aguas contaminadas. Por ejemplo, en Estados Unidos en 2013 se detectó Percloroetileno (PCE, PERC o tetracloroetileno) en agua potable, ambientes interiores, aire ambiental, agua subterránea y suelo. Existen muchas fuentes puntuales de contaminación en los Estados Unidos, y PCE también es comúnmente encontrado en centros de acopio de residuos peligrosos (Guyton *et al.*, 2014).

Tabla 13.

Top 5 de del ranking de puntajes para SQI priorizadas por índice de salud ocupacional

SQI	I _{SO}	I _{SGA}	I _{MA}
1.Tetracloroetileno (percloroetileno)	1,00	0,27	0,72
2.Cloruro de vinilo	0,88	0,17	0,90
3.Tricloroetileno	0,87	0,26	0,63
4.Bromometano (bromuro de metilo).	0,77	0,13	0,56
5.Tetracloruro de carbono	0,74	0,23	0,55
5.Arsénico	0,74	0,18	0,51

Fuente: Elaboración propia (2024).

Es válido recordar que el índice se calcula como un promedio ponderado, en el cual, el cáncer de origen laboral recibe una mayor importancia o ponderación, debido a las razones mencionadas anteriormente; sin embargo, todas las categorías de enfermedades también suman al índice.

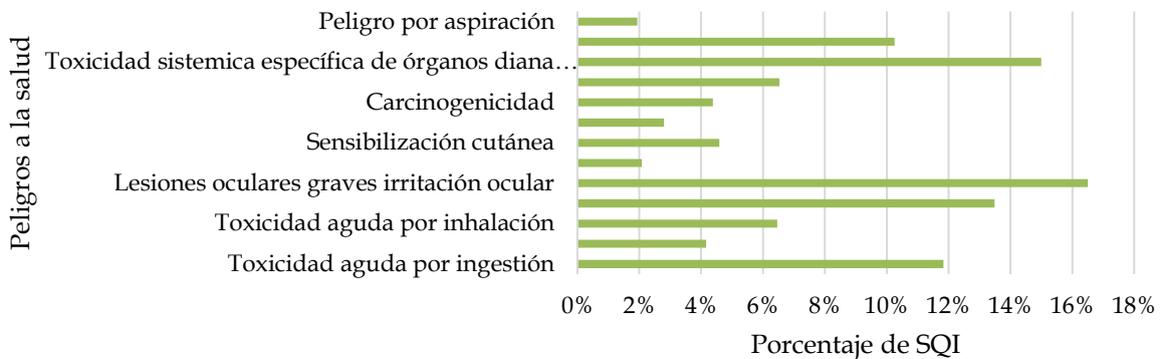
3.3. Generación de índices por Sistema Globalmente Armonizado.

El diagnóstico del SGA revela que un mayor número de sustancias están asociadas con peligros para la salud, en parte porque estos peligros son más prevalentes en comparación con los riesgos físicos y ambientales. Según los datos más recientes, el 9% de las sustancias químicas tienen al menos un peligro físico, mientras que un significativo 81% tienen al menos un peligro para la salud, y el 10% presentan al menos un peligro ambiental. Es interesante notar que los peligros físicos a menudo se excluyen mutuamente; por ejemplo, una sustancia no puede ser a la vez un sólido inflamable y un líquido inflamable. Muchos peligros físicos implican explosividad; sin embargo, los productos químicos con esta característica rara vez se utilizan comercialmente debido a los riesgos inherentes.

Al ver la distribución de los peligros a la salud (Figura 2), las lesiones oculares graves e irritación cutánea, es el peligro que más se presenta en las SQI empleadas en Colombia que se analizaron, la cuales representan un peligro moderado; además, la toxicidad sistémica tanto única como repetida y la toxicidad por ingestión pueden llegar a ser muy peligrosas y se encuentran en un porcentaje alto también, representando un posible riesgo a la salud pública.

Figura 2.

Distribución de peligros a la salud en las SQI según el SGA



Fuente: Elaboración propia (2024).

El cromo hexavalente ha afectado a un número significativo de personas en California y en otras partes del mundo debido a la contaminación del agua potable y del suelo. Uno de los mayores impactos generados por el cromo hexavalente en las personas afectadas es el riesgo de desarrollar cáncer, especialmente debido a la exposición prolongada a este compuesto carcinogénico. Además, el cromo hexavalente puede causar daños en el sistema respiratorio, gastrointestinal y en la piel, entre otros efectos adversos para la salud. Por lo tanto, es fundamental controlar y reducir la exposición al cromo hexavalente para proteger la salud de las personas afectadas (Xie *et al.*, 2017).

Tabla 13.

Top 10 puntajes para SQI priorizadas de acuerdo con los peligros establecidos según el SGA

SQI	I _{SGA}	I _{SO}	I _{MA}
1. Dicromato de potasio	0,47	0,13	0,34
2. Dicromato de sodio	0,44	0,13	0,34
3. Trióxido de cromo	0,43	0,15	0,56
4. 1,2-Dicloroetano (epiclorhidrina)	0,42	0,00	0,51
5. Éter dietílico (óxido de dietilo)	0,40	0,00	0,59

Fuente: Elaboración propia (2024).

En la Tabla 13 se priorizan sustancias químicas por peligros físicos, a la salud y al medio ambiente, destacando la alta movilidad ambiental y el potencial de entrada al organismo. Las sustancias priorizadas por salud ocupacional, principalmente agotadoras de la capa de ozono, no presentan problemas crónicos como el cáncer y requieren un análisis detallado. Aunque la inhalación es la vía de acceso más crítica, las sustancias priorizadas por SGA no son las principales causantes de cáncer, mostrando bajos índices de salud ocupacional.

4. Discusión

La generación de índices por movilidad ambiental revela que una gran proporción de sustancias químicas industriales tienen alta afinidad al agua (26%) y al suelo (24%), lo que representa un riesgo significativo para los cuerpos de agua, la agricultura y los alimentos de consumo humano. Este hallazgo subraya la importancia de gestionar adecuadamente estas sustancias para prevenir su bioacumulación en la biota animal y su biomagnificación en la cadena trófica, lo cual podría llevar a concentraciones peligrosas en seres humanos, especialmente si se acumulan en animales de consumo como el ganado y los peces. La alta movilidad ambiental de sustancias como el dodecibenceno, cloruro de vinilo, nonilfenol y toluendiisocianato, que presentan peligros tanto para la salud ocupacional como para el medio ambiente, resalta la necesidad de controles estrictos y estrategias de mitigación.

La priorización en movilidad ambiental está basada en 319 sustancias químicas, puede escalarse para representar un panorama similar para otras SQI en Colombia. Según el Perfil Nacional de Sustancias Químicas 2012, de 126 entidades encuestadas, la mayor preocupación es la contaminación de aguas (82 entidades) y suelos (72 entidades), lo cual concuerda con los resultados de este análisis técnico. Aunque la biota animal y el aire también presentan alta movilidad de SQI, solo 61 entidades mostraron preocupación por la contaminación del aire. La Figura 1 muestra cómo las sustancias químicas pueden contaminar cuerpos de agua y suelos, dificultando la biodegradación y representando un peligro latente para la salud pública si no se controlan adecuadamente.

Se encontraron sustancias químicas de uso industrial masivo, como ácidos y bases inorgánicas y solventes orgánicos asociados al cáncer, priorizadas por su alta movilidad ambiental. Según la Tabla 12, estas sustancias muestran poca afectación a nivel de salud ocupacional y SGA, pero alta movilidad en el ambiente, especialmente en el aire, facilitando su entrada al torrente sanguíneo y exposición interna a órganos. La falta de datos precisos del DANE indica que estas sustancias se comercializan bajo categorías genéricas, sin registrar la distribución interna con certeza.

La evaluación de los índices por salud ocupacional muestra que el sistema respiratorio es el más afectado por las sustancias químicas en el ámbito laboral, seguido de las enfermedades de la piel y tejido subcutáneo. Este resultado refuerza la necesidad crítica de implementar medidas de protección respiratoria y de la piel en la industria. La Figura 1 destaca el cáncer de origen laboral, ya que muchos trabajadores subestiman el riesgo químico y no usan Equipos de Protección Personal (EPP). La exposición constante a sustancias químicas puede desarrollar diversos tipos de cáncer. Es esencial abordar las necesidades de salud relacionadas con el envejecimiento y mejorar las capacidades de los trabajadores mayores.

El PERC, una de las sustancias priorizadas, ha tenido efectos adversos significativos en la salud humana, afectando a una amplia población. Identificado como un toxicante reproductivo, neurotóxico y posible carcinógeno, el PERC causa problemas neuropsicológicos, cáncer y otros trastornos. Los trabajadores de limpieza en seco y las comunidades expuestas a través del agua potable enfrentan riesgos considerables. En el condado de King, Washington, un programa iniciado en 2018 promovió la adopción de lavandería mojada profesional (PWC), brindando asistencia técnica y financiera desde la década de 1990 para proteger a los trabajadores, principalmente minorías raciales y étnicas. Para sustituir el PERC, se proponen alternativas más seguras como la limpieza en húmedo profesional, dióxido de carbono líquido, hidrocarburos de alto punto de inflamación, éteres de glicol de propileno, siloxano o butilal, consideradas menos tóxicas y más respetuosas con el medio ambiente (Ceballos *et al.*, 2021).

El diagnóstico del SGA revela que un número significativo de sustancias están asociadas con peligros para la salud, con un 81% presentando al menos un peligro para la salud y un 10% con peligros ambientales. La alta incidencia de peligros como lesiones oculares graves e irritación cutánea, toxicidad sistémica y por ingestión destaca la necesidad de regulaciones más estrictas y de medidas de protección adecuadas para minimizar estos riesgos. El cromo hexavalente, en particular, ha demostrado ser extremadamente peligroso debido a su asociación con el cáncer y otros daños graves a la salud, lo que subraya la urgencia de controlar y reducir su exposición para proteger la salud pública.

La alta movilidad ambiental de ciertas sustancias químicas y su impacto potencial en la salud humana y ambiental demandan una vigilancia continua y la implementación de políticas eficaces para gestionar estos riesgos. Las sustancias priorizadas por el SGA y los índices de salud ocupacional deben ser objeto de análisis detallados y medidas preventivas para mitigar sus efectos adversos. Las entidades responsables deben tomar acciones preventivas para minimizar la exposición a estas sustancias y proteger la salud pública.

5. Conclusiones

El estudio se enfocó en la movilidad ambiental de sustancias químicas en Colombia, destacando su afinidad hacia el agua y la biota animal, y baja afinidad hacia el aire. Se clasificaron sustancias industriales según su movilidad ambiental, salud ocupacional y peligros bajo el Sistema Globalmente Armonizado (SGA). Se identificaron sustancias peligrosas no reguladas como el ácido fosfórico y el hidróxido de potasio, y sectores industriales como las lavanderías que usan tetracloroetileno, relacionado con cáncer y otras enfermedades graves.

Las propiedades fisicoquímicas de las sustancias y su relación con la movilidad ambiental y peligros del SGA muestran deficiencias en bases de datos gubernamentales, indicando la necesidad de estudios adicionales y mejoras en políticas ambientales y de salud pública. Es crucial mejorar la recopilación de datos del DANE para evitar sesgos y llenar vacíos informativos en grupos industriales y áreas metropolitanas. Se insta a investigaciones

adicionales respaldadas por entidades colombianas o revistas científicas para obtener datos confiables. Además, se enfatiza la necesidad de políticas más estrictas sobre sustancias químicas críticas para la salud pública y el medio ambiente, con un enfoque en la prevención de enfermedades laborales y efectos indirectos, como la afectación de la capa de ozono.

El estudio logró generar índices de peligrosidad aplicados a la movilidad ambiental, salud ocupacional y el sistema globalmente armonizado en productos químicos en Colombia. Estas metodologías no solo son aplicables a nivel local, sino que podrían utilizarse a nivel mundial. Finalmente, se propone expandir el estudio para incluir una evaluación más detallada de enfermedades ocupacionales, tiempos de exposición y sustancias químicas relacionadas, con el fin de mejorar la gestión del riesgo químico y mitigar impactos adversos en la población global.

6. Referencias

- Allen, D. T. y Shonnard, D. R. (2002). *Green Engineering Environmentally Conscious Design of Chemical Processes*. Prentice Hall PTR.
- Ceballos, D. M., Fellows, K. M., Evans, A. E., Janulewicz, P. A., Lee, E. G. y Whittaker, S. G. (2021). Perchloroethylene and Dry Cleaning: It's Time to Move the Industry to Safer Alternatives. *Frontiers in Public Health*, 9(1-12). <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.638082>
- Chen, L., Zhou, S., Shi, Y., Wang, C., Li, B., Li, Y. y Wu, S. (2018). Heavy metals in food crops, soil, and water in the Lihe River Watershed of the Taihu Region and their potential health risks when ingested. *Science of the Total Environment*, 615, 141-149. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.230>
- Daina, A., Michielin, O. y Zoete, V. (2014). iLOGP: a simple, robust, and efficient description of n-octanol/water partition coefficient for drug design using the GB/SA approach. *Journal of chemical information and modeling*, 54(12), 3284-3301. <https://doi.org/10.1021/ci500467k>
- Decreto 1477 de 2014. In Ministerio de Trabajo. Ministerio de Trabajo- República de Colombia. <https://bit.ly/4chik0E>
- Foladori, G., Bejarano, F. y Invernizzi, N. (2013). Nanotecnología: Gestión y reglamentación de riesgos para la salud y medio ambiente en América Latina y el Caribe. *Trab. Educ. Saúde*, 11(1), 145-167. <https://doi.org/10.1590/S1981-77462013000100009>
- Guyton, K. Z., Hogan, K. A., Scott, C. S., Cooper, G. S., Bale, A. S., Kopylev, L., Barone, S., Makris, S. L., Glenn, B., Subramaniam, R. P., Gwinn, M. R., Dzubow, R. C. y Chiu, W. A. (2014). Human health effects of tetrachloroethylene: Key findings and scientific issues. *Environmental Health Perspectives*, 122(4), 325-334. <https://doi.org/10.1289/ehp.1307359>
- Hohl, C. M., Karpov, A., Reddekopp, L., Doyle-Waters, M. y Stausberg, J. (2014). ICD-10 codes used to identify adverse drug events in administrative data: a systematic review. *Journal of the American Medical Informatics Association: JAMIA*, 21(3), 547-557. <https://doi.org/10.1136/amiajnl-2013-002116>
- Lopez, A., Hoyos, M. C., Suarez, Oscar y Montes, C. (2012). *Perfil Nacional de Sustancias Químicas en Colombia*. (Vol. 1). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

<https://bit.ly/3VIA0v5>

- Martínez, S. (2019). *Ampliación de la metodología de sustancias químicas considerando variables de salud ocupacional y sistema globalmente armonizado* [Tesis de grado]. Universidad Nacional de Colombia. <https://bit.ly/3XJOxcm>
- Mbonu, C. C. y Ben, U. C. (2021). Assessment of radiation hazard indices due to natural radioactivity in soil samples from Orlu, Imo State, Nigeria. *Heliyon*, 7(8), e07812. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07812>
- Murcia, J. E., Martínez, S., Martins, V., Herrera, D., Buitrago, C., Velasquez, A., Ruiz, F. y Torres, M. (2023). Risk assessment and green chemistry applied to waste generated in university laboratories. *Heliyon*, 9(5). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15900>
- Narváez Valderrama, J. A. y Palacio Baena, F. J. M. P. (2015). Persistence of pesticides in the environment and its ecotoxicity: A review of the processes of natural degradation (Persistencia de plaguicidas en el ambiente y su ecotoxicidad: Una revisión de los procesos de degradación natural). *Gestión y Ambiente*, 15(3), 27-37. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169424893002>
- Neumann, V., Löseke, S., Nowak, D., Herth, F. J. F. y Tannapfel, A. (2013). Malignant pleural mesothelioma: incidence, etiology, diagnosis, treatment, and occupational health. *Deutsches Arzteblatt International*, 110(18), 319-326. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2013.0319>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2022). *Echemportal*. <https://www.echemportal.org/echemportal/>
- Resolución 0312 de 2019. Por la cual se definen los estándares mínimos del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST). 6 de febrero de 2019. Ministerio del Trabajo.
- Rodríguez-Villamizar, L. A., González, B. E., Vera, L. M., Patz, J. y Bautista, L. E. (2015). Environmental and occupational health research and training needs in Colombia: A Delphi study. *Biomedica*, 35(3), 58-65. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v35i0.2430>
- Silvestre, B. S., Gimenes, F. A. P. y Silva Neto, R. (2017). A sustainability paradox? Sustainable operations in the offshore oil and gas industry: The case of Petrobras. *Journal of Cleaner Production*, 142, 360-370. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.215>
- Stibany, F., Schmidt, S. N., Mayer, P. y Schäffer, A. (2020). Toxicity of dodecylbenzene to algae, crustacean, and fish – Passive dosing of highly hydrophobic liquids at the solubility limit. *Chemosphere*, 251, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126396>
- Suárez, O. J., Narváez, P. C., Martínez, M. y Martínez, S. (2017). *Perfil Nacional de Sustancias Químicas en Colombia. Vol II: Actualización de los capítulos 2 y 3, con énfasis en sustancias de uso industrial*. <https://bit.ly/3LAg3tO>
- United Nations. (2017). Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals. En *Environmental information science* (7ª ed., Vol. 37, núm. 3). United Nations.
- van Raamsdonk, L. W. D., van der Zande, M., Koelmans, A. A., Hoogenboom, R. L. A. P., Peters, R. J. B., Groot, M. J., Peijnenburg, A. A. C. M. y Weesepeel, Y. J. A. (2020). Current

Insights into Monitoring, Bioaccumulation, and Potential Health Effects of Microplastics Present in the Food Chain. *Foods* (Basel, Switzerland), 9(1), 72. <https://doi.org/10.3390/foods9010072>

Xie, Y., Holmgren, S., Andrews, D. M. K. y Wolfe, M. S. (2017). Evaluando el impacto del programa nacional de toxicología de EE. UU.: Un estudio de caso sobre el cromo hexavalente. *Environmental Health Perspectives*, 125(2), 181-188. <https://doi.org/10.1289/EHP21>

Zaccone, E. J., Goldsmith, W. T., Shimko, M. J., Wells, J. R., Schwegler-Berry, D., Willard, P. A., Case, S. L., Thompson, J. A. y Fedan, J. S. (2015). Diacetyl and 2,3-pentanedione exposure of human cultured airway epithelial cells: Ion transport effects and metabolism of butter flavoring agents. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 289(3), 542-549. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2015.10.004>

Zimmermann, M. B. y Galetti, V. (2015). Iodine intake as a risk factor for thyroid cancer: A comprehensive review of animal and human studies. *Thyroid Research*, 8(1), 1-21. <https://doi.org/10.1186/s13044-015-0020-8>

CONTRIBUCIONES DE AUTORES/AS, FINANCIACIÓN Y AGRADECIMIENTOS

Contribuciones de los autores:

Conceptualización: Martínez S & Suarez O; **Software:** Martínez S; **Análisis formal:** Martínez S & Suarez O; **Redacción-Preparación del borrador original:** Martínez S & Suarez O **Redacción-Re- visión y Edición:** Martínez S & Suarez O **Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito:** Martínez S & Suarez O.

Financiación: Esta investigación no financiamiento externo.

Agradecimientos: Se agradece a la Universidad de lo Llanos y a la Universidad Nacional de Colombia por apoyarnos en la participación de este documento

Conflicto de intereses: No existen.

AUTOR:**Saúl Martínez Molina:**

Universidad de los Llanos.

Saúl Martínez es docente e investigador de la Universidad de los Llanos, tiene amplia experiencia en consultoría en proyectos ambientales, evidenciando una carrera definida por su dedicación y enfoque innovador. Con formación en Ingeniería Química y Magíster en Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Colombia -Sede Bogotá, doctorando en Estudios Ambientales en la misma Universidad. Sobresale en la gestión de proyectos, Sistema Globalmente Armonizado, y en el cumplimiento de normativas y estándares internacionales, como las normas ISO 9001 e ISO 14001. Además, cuenta con amplia experiencia en el manejo de residuos sólidos, operación de laboratorios, simulación de procesos, bases de datos y medición de propiedades fisicoquímicas.

smartinezmolina@unillanos.edu.co

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0001-7855-4714>

Google Scholar: <https://scholar.google.com/citations?user=Q-hTudIAAAAJ&hl=es>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Saul-Martinez-2>

Academia.edu: <https://independent.academia.edu/SMartinezMolina>

Oscar Javier Suarez Medina:

Universidad Nacional de Colombia.

Como Ingeniero Químico MSc. Tengo experiencia de más de 30 años en el área de ambiental especialmente en relación con hidrocarburos, combustión, emisiones atmosféricas, procesos de biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos, Residuos Peligrosos - RESPEL, cambio climático y sistemas de gestión ambiental. En el campo de los RESPEL he participado en el desarrollo de investigación, capacitación, implementación de técnicas de laboratorio para caracterizar RESPEL, Sustancias químicas, normatividad ambiental nacional y mucha experiencia en dirección de proyectos y de grupos interdisciplinarios. En el área ambiental he sido consultor de naciones Unidas, de varios ministerios y Gestor Ambiental de la Universidad Nacional en la sede Bogotá. He desarrollado mi capacidad docente en el área de los fenómenos de transporte (Transferencia de calor, de masa y de cantidad de movimiento), así como en diversos temas ambientales (contaminación atmosférica, cambio climático y RESPEL), especialmente en el postgrado en Ingeniería Química y Ambiental de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

ojsuarezm@unal.edu.co

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0003-3533-6527>