



Revisión de metodologías para la evaluación de la compatibilidad de sustancias químicas, aplicables al sector de servicios de mantenimiento automotriz

Arteaga Méndez, Camilo ID 922771

Aya Bautista, Natalia Andrea ID 940118

Guzmán Bedoya, Jorge Alberto ID 924472

Molina Corredor, Liliana ID 919115

Suárez Barahona, Diana Milena ID 935299

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría UNIMIMUTO Bogotá

Sede / Centro Tutorial Bogotá D.C. - Sede Principal

Programa Especialización Gerencia en Riesgos Laborales, Seguridad y Salud en el
Trabajo

Bogotá, DC, abril de 2024

Revisión de metodologías para la evaluación de la compatibilidad de sustancias químicas, aplicables al sector de servicios de mantenimiento automotriz

Arteaga Méndez, Camilo ID 922771

Aya Bautista, Natalia Andrea ID 940118

Guzmán Bedoya, Jorge Alberto ID 924472

Molina Corredor, Liliana ID 919115

Suárez Barahona, Diana Milena ID 935299

Monografía presentada como requisito para optar al título de Especialista en Gerencia en
Riesgos Laborales, Seguridad y Salud en el Trabajo

Asesor:

Hernández Duarte, Wilder

Magíster en Salud y Seguridad en el Trabajo. Fisioterapeuta

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría UNIMINUTO Bogotá

Sede / Centro Tutorial Bogotá D.C. - Sede Principal

Especialización en Gerencia en Riesgos Laborales, Seguridad y Salud en el Trabajo

Bogotá DC, abril de 2024

Dedicatoria

Dedicamos esta monografía a la pasión por la ingeniería, al compromiso con la excelencia y a aquellos visionarios que desempeñan un papel fundamental para preservar la integridad del medio ambiente y promueven entornos laborales más seguros y saludables para todos. A las futuras generaciones y, finalmente, a todos los profesionales dedicados a garantizar la seguridad y salud en el trabajo un gran reconocimiento de valor, por su incansable labor de velar por la protección y el bienestar de los trabajadores en todas partes.

Agradecimientos

Queremos expresar en este espacio, nuestro agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de esta monografía. En primer lugar a nuestro tutor por su orientación constante y apoyo frente a la elaboración de este proceso de investigación. A nuestros docentes y compañeros de clases, que complementaron y ayudaron a enriquecer los criterios para la realización del mismo y el respaldo logístico brindado por nuestros colegas y nuestras familias por la incondicionalidad en esta ejecución.

Tabla de contenido

1.	Resumen Ejecutivo	8
2.	Introducción.....	9
3.	Problema	11
4.	Pregunta de Investigación	13
5.	Objetivos	14
	Objetivo General.....	14
	Objetivos Específicos.....	14
6.	Justificación.....	15
7.	Marco de Referencia	17
	Marco teórico.....	17
	Marco Legal y Normativo	26
8.	Metodología.....	29
	Enfoque y Alcance de la Investigación	29
	Descripción de Estrategia de Búsqueda	29
	Instrumentos	32
	Análisis de Información	33
	Consideraciones Éticas.....	34
9.	Cronograma	34

10. Resultados y Discusión	36
Manejo seguro de químicos peligrosos	43
Almacenamiento de productos peligrosos y su compatibilidad	47
Información de Organismos Gubernamentales y Multilaterales sobre compatibilidad de sustancias químicas y sus metodologías de evaluación	48
Metodologías de evaluación de compatibilidad de sustancias y productos químicos en el sector automotriz	49
11. Conclusiones	51
12. Recomendaciones	54
13. Referencias Bibliográficas	55

Lista de Tablas

Tabla 1. Peligros por riesgo químico en el sector de automotriz.....	18
Tabla 2. <i>Productos químicos comunes en instalaciones de mantenimiento automotriz.....</i>	19
Tabla 3. <i>Legislación colombiana para el manejo del riesgo químico</i>	27
Tabla 4. <i>Normativa técnica nacional e internacional para el manejo de riesgo químico..</i>	28
Tabla 5. <i>Cronograma de ejecución del proyecto por macroactividades</i>	35

Lista de Figuras

Figura 1. <i>Tipos de almacenamiento de sustancias químicas</i>	23
Figura 2. <i>Evaluación de compatibilidad de sustancias químicas.....</i>	24
Figura 3. <i>Código de reactividad de sustancias químicas.....</i>	26
Figura 4. <i>Número de documentos revisados por base de datos consultados</i>	39
Figura 5. <i>Resultado de las bases de datos consultadas</i>	40
Figura 6. <i>Cantidad de documentos por año consultado</i>	41
Figura 7. <i>N° de documentos por tipo de estudio.....</i>	42

Resumen Ejecutivo

El presente estudio realiza una revisión de metodologías para la evaluación de la compatibilidad de sustancias químicas en el sector de mantenimiento automotriz, mediante una revisión exhaustiva en cinco bases de datos científicas (SCIENCEDIRECT, SPRINGER LINK, SAGE JOURNALS, SCOPUS Y EPSCOHOST FUENTE ACADEMICA), a partir de cuatro ecuaciones de búsqueda, examinando 28.736 documentos, de los cuales se seleccionaron 16 relevantes para los objetivos del estudio. Estos documentos abordaron diversos aspectos relacionados con la identificación de peligros, la gestión de riesgos y la compatibilidad de sustancias y productos químicos. Sin embargo, teniendo en cuenta la información disponible, se evidenció escasa investigación específica sobre la compatibilidad de sustancias químicas, especialmente en el sector automotriz. No obstante, se consiguió información valiosa para el estudio en publicaciones de organismos gubernamentales y multilaterales de reconocido prestigio en el área de estudio. Se concluye la necesidad de promover investigación en el estudio de compatibilidad de sustancias químicas y se evalúa la metodología de Matrices de Compatibilidad de Sustancias Químicas (MCSQ) como la adecuada, en el marco del desarrollo de conocimiento actual, en virtud de los peligros asociados a las sustancias comunes en talleres de mantenimiento automotriz, así como por su facilidad de construcción y manejo en la gestión de sustancias químicas en los centros de trabajo.

1. Introducción

El manejo inadecuado de sustancias químicas en los servicios de mantenimiento automotriz es una causa de accidentes y enfermedades laborales, especialmente por fallas asociadas a su almacenamiento, transporte y manejo durante los procesos del servicio. El desconocimiento de las incompatibilidades de estas sustancias puede acarrear incidentes por reacciones con desprendimiento de vapores tóxicos, generación de calor, incendios o explosiones. Por esta razón es cada vez más común que los organismos oficiales de control nacional o regional exijan el uso de metodologías que orienten el almacenamiento y manejo seguro de dichas sustancias.

El presente trabajo se propone revisar las metodologías para la evaluación de la compatibilidad de sustancias químicas, con énfasis en las utilizadas en servicios de mantenimiento automotriz, a través de un estudio de tipo documental. Para ello, se desarrollaron ecuaciones de búsqueda a partir de la definición de palabras clave, que luego se corrieron en base de datos científicas definidas. Así mismo, se realizaron búsquedas en instituciones de reconocido prestigio nacional e internacional en el estudio del riesgo químico, afecciones a la salud y enfermedades producto de contacto con sustancias químicas en el trabajo, manejo de emergencias con sustancias químicas, así como metodologías de estudio de la compatibilidad entre sustancias químicas.

De todos los documentos revisados en las cinco BD científicas consultadas (28.736 documentos), únicamente diez y seis (16) fueron pertinentes para los objetivos definidos en el estudio. Sin embargo, a nivel de documentación de entes gubernamentales y multilaterales, se pudo ubicar información que aportó a los objetivos propuestos, especialmente a la evaluación de la compatibilidad de sustancias químicas, así como a la propuesta de una metodología para su evaluación en centros de trabajos industriales y de servicios. Esta información permitió proponer una metodología de evaluación de compatibilidad de sustancias químicas para el sector en

estudio, en virtud de los criterios de peligrosidad de sustancias evaluados, así como de su fácil construcción y su presentación visual, muy útil en centros de trabajo.

Finalmente, el estudio verifica la necesidad de ampliar la investigación en cuanto a la incompatibilidad de sustancias químicas de uso frecuente en la industria, particularmente en el sector automotriz, a fin de promover criterios técnicos para el manejo seguro de estas sustancias.

2. Problema

Descripción del problema

De acuerdo con la Organización Internacional del Trabajo (OIT, 2021), los accidentes laborales generan casi dos millones de muertes anuales a nivel mundial. Si consideramos que la misma OIT, calcula en 800.000 las muertes anuales por partículas químicas de origen ocupacional, productos químicos involucrados en envenenamientos agudos y pesticidas, podemos afirmar que más del 40% de las muertes asociadas a accidentes o enfermedades laborales en el mundo están vinculadas al manejo de sustancias químicas (OIT, 2013).

El Instituto Nacional de Salud de Colombia (INS) indica que en 2018 se reportaron 11.105 casos de intoxicación por contacto con sustancias químicas. Una fracción importante de las muertes y enfermedades ocurridas por intoxicaciones o contactos con sustancias químicas, suceden en ocasión del trabajo, ya que, en instalaciones industriales, de servicios, minería y agricultura, el uso intensivo de sustancias químicas genera una alta exposición (INS, 2018).

En las industrias y servicios, las sustancias químicas deben ser manejadas desde su almacenamiento, uso en procesos, hasta sus salidas como productos y desechos. Este manejo trae consigo la posibilidad de contactos accidentales por fugas, derrames o manejo inadecuado (Fajardo, 2022).

A este respecto, Colombia desde su incorporación a la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) inició el proceso legislativo para adoptar el Sistema Globalmente Armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos, que concluyeron en el Decreto 1496 de 2018, por el cual se adopta el Sistema Globalmente Armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos y se dictan otras disposiciones en materia de seguridad química (Presidencia de la República de Colombia, 2018); así como la Resolución 773 de 2021, por la cual se definen las acciones que deben desarrollar los empleadores para la

aplicación del Sistema Globalmente Armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos en los lugares de trabajo y se dictan otras disposiciones en materia de seguridad química (Ministerio de Salud y Protección Social, 2021).

El manejo inadecuado de sustancias químicas durante el transporte, almacenamiento y uso en procesos industriales o de servicios, puede generar la combinación accidental de sustancias químicas que pudiera dar lugar a reacciones peligrosas o violentas, con la posibilidad de generar incendios, explosiones y/o emanaciones de gases venenosos o corrosivos que pudieran comprometer la salud de las personas, las instalaciones y/o el medio ambiente, así como presentarse derrames, fugas por roturas de envases (Henaó, 2015).

Lo anterior le plantea a los establecimientos industriales y empresas en general, la necesidad de establecer metodologías que permitan verificar la compatibilidad de las sustancias manejadas, cómo parte de los sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo (SG-SST).

En Colombia las empresas de todas las ramas industriales han venido adecuándose a las regulaciones que establecen la obligatoriedad de señalar, informar y manejar adecuadamente los productos químicos que utilizan en sus establecimientos. Este esfuerzo requiere el desarrollo de metodologías que permitan estudiar la compatibilidad de las sustancias que se manejan, a fin de apoyar las gestiones de transporte, almacenamiento y manipulación segura de las sustancias químicas (Fajardo, 2022).

Las Matrices de Compatibilidad Química son instrumentos de análisis y gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) que informan a quienes manejan sustancias químicas, los peligros asociados al manejo inadecuado por contacto entre sustancias incompatibles fisicoquímicamente (Fajardo, 2022). Esta información permite prevenir daños a los trabajadores ante reacciones químicas que les puedan generar irritación, quemaduras o intoxicaciones de diverso grado (Henaó, 2015 y Fajardo, 2022).

En Colombia, de acuerdo con la ANDI, el sector automotriz emplea aproximadamente 125.000 personas (Diario La República, 2023), siendo un sector dinámico y en crecimiento, pero que requiere ser regulado para mejorar la calidad y seguridad en sus procesos, ya que son de uso común sustancias químicas inflamables, irritantes y tóxicas.

De acuerdo con técnicos y asesores de SST que han realizado visitas e inspecciones en talleres y establecimientos de mantenimiento automotriz en Bogotá en los últimos cuatro años, los entes gubernamentales de control, a nivel nacional y regional, solicitan a estos establecimientos la aplicación de metodologías que evalúen la compatibilidad de las sustancias químicas almacenadas, a fin de promover prácticas seguras de almacenamiento y manejo (C. Arteaga y J. Guzmán, comunicación personal, 15 de febrero de 2024) . Sin embargo, han podido constatar que son muy pocas las empresas que utilizan estas metodologías de evaluación de compatibilidad de sustancias químicas.

El presente trabajo se propone hacer una revisión bibliográfica de las metodologías para estudiar la compatibilidad de sustancias químicas que puedan ser de interés para el sector de mantenimiento automotriz, en el entendido que en Colombia los organismos regulatorios nacionales y regionales solicitan a las empresas que manejan sustancias químicas, evaluar la compatibilidad de estas para hacer propuestas de manejo seguro y el diseño de sus planes de emergencias.

3. Pregunta de Investigación

¿Cuáles metodologías existentes para evaluar compatibilidad de sustancias químicas pueden ser empleadas en el sector de mantenimiento automotriz?

4. Objetivos

Objetivo General

Identificar metodologías apropiadas para la evaluación de compatibilidad de sustancias químicas en el sector automotriz.

Objetivos Específicos

- Caracterizar las metodologías existentes para el estudio de compatibilidad de sustancias químicas, a través de una revisión de la bibliografía existente y disponible.
- Evaluar estas metodologías a fin de identificar elementos que puedan aplicar para la evaluación de compatibilidad de sustancias químicas en el sector de mantenimiento automotriz, basados en las sustancias comúnmente utilizadas y generadas en este sector económico.

5. Justificación

La revisión bibliográfica para identificar metodologías para la evaluación de compatibilidad química busca abordar una necesidad imperativa en el sector industrial y de servicios: La seguridad en el manejo y almacenamiento de sustancias químicas (OIT, 2021). La complejidad inherente a la variedad de productos químicos utilizados en este sector, con propiedades combustibles, ácidos, tóxicos, inflamables, entre otros, conlleva riesgos significativos asociados a una manipulación inadecuada, almacenamiento inapropiado, así como la posibilidad de mezclas involuntarias ya sea por accidentes o por desconocimiento del personal de almacén, que podría desencadenar en situaciones potencialmente peligrosas para las personas, el Ambiente y terceros (Henaó, 2015).

Esta revisión bibliográfica tiene como objetivo principal seleccionar una metodología idónea que permita identificar y clasificar de manera adecuada las interacciones entre distintas sustancias químicas utilizadas en trabajos de mantenimiento automotriz. Esto permitirá dar directrices claras, prácticas y adecuadas para el almacenamiento seguro, reconociendo los peligros inherentes a cada sustancia y minimizando la posibilidad de mezclas no deseadas que pudieran desencadenar reacciones peligrosas.

La implementación de metodologías para la evaluación de compatibilidad basadas en evidencia científica y conocimientos consolidados en la literatura especializada permitirá a las empresas del sector automotriz tomar decisiones informadas en la gestión de sus inventarios químicos. Las matrices de compatibilidad de sustancias químicas son una herramienta que permite mejorar la seguridad en el lugar de trabajo, reduciendo accidentes y posibles impactos ambientales, además de contribuir a optimizar los procesos de almacenamiento y gestión de productos químicos, generando beneficios económicos y operativos (Paredes y Millán, 2019).

Finalmente, esta revisión bibliográfica será un aporte para elevar los estándares de seguridad en el sector de mantenimiento automotriz colombiano, al proveer metodologías y herramientas para minimizar los riesgos asociados a las mezclas involuntarias de sustancias químicas, promoviendo así un entorno laboral más seguro y sostenible.

6. Marco de Referencia

Marco teórico

Sustancias Químicas y Productos Químicos Peligrosos

La Organización de Naciones Unidas (ONU, 2015), define como “Sustancia química”, un elemento químico y sus compuestos en estado natural u obtenido mediante cualquier proceso de producción. Dos o más sustancias que no reaccionan entre sí, generan una “mezcla”.

De acuerdo con el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo de España (INSST, 2023), se considera agente químico peligroso, aquel que pueda representar un riesgo para la seguridad y salud de los trabajadores debido a sus propiedades fisicoquímicas o toxicológicas.

Clasificación de Sustancias y Mezclas Químicas Peligrosas y de Uso Común en Mantenimiento Automotriz

El estándar mundial para la clasificación de sustancias químicas en base a sus peligros es el Sistema Globalmente Armonizado (ONU, 2015). Su desarrollo inició con la definición de los criterios de clasificación de los peligros para la salud y el Ambiente, realizados por el grupo de trabajo de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), sobre armonización de la clasificación y el etiquetado, así como sobre los peligros físicos realizados por el grupo de trabajo de la ONU-OIT (ONU, 2015). Al ser una clasificación basada en peligros, sólo se consideran las propiedades peligrosas de las sustancias o mezclas.

Este sistema propone tres tipos generales de peligros: físicos, a la salud y al Ambiente, los cuales contienen 17, 10 y 2 peligros respectivamente. De este listado, se indican los siguientes por la relevancia que tienen en las sustancias comúnmente presentes en instalaciones de servicio de mecánica automotriz en Colombia:

Tabla 1

Factores de riesgo químico en el sector de automotriz

Peligros Físicos	Peligros para la Salud	Peligros para el Medio Ambiente
Explosivos.	Toxicidad aguda.	Peligros para el medio ambiente acuático.
Gases inflamables.	Corrosión/Irritación cutánea.	Peligros para la capa de ozono.
Aerosoles.	Lesiones oculares graves, irritación ocular.	
Gases a presión.	Carcinogenicidad.	
Líquidos inflamables. Sustancias y mezclas corrosivas para los metales.	Peligro por aspiración.	

Fuente: Elaboración propia a partir de ONU (2015).

De acuerdo a evaluaciones realizadas por técnicos y asesores en SST en diez patios de talleres de empresas de servicios de mantenimiento automotriz en Bogotá entre los años 2020 y 2024, las sustancias químicas de uso común en estas instalaciones se pueden clasificar del modo siguiente, de acuerdo a su uso (C. Arteaga y J. Guzmán, comunicación personal, 15 de febrero de 2024):

- Combustibles para vehículos.
- Grasas y lubricantes.
- Fluidos de servicio automotriz.
- Pegamentos y anti adhesivos de uso en talleres.
- Materiales y equipos de servicios con sustancias químicas contenidas.
- Desechos de talleres, clasificados como peligros por su contenido de hidrocarburos u otras sustancias tóxicas.

De acuerdo a esta clasificación general, en la siguiente tabla se listan las sustancias de uso y manejo común en instalaciones de mantenimiento automotriz

Tabla 2

Productos químicos comunes en instalaciones de mantenimiento automotriz

Nombre genérico de la sustancia o producto	Tipo por su uso	Característica fisicoquímica básica	Identificación del peligro
Aceite de motor	Aceites y lubricantes	Derivado petróleo	Daño al ambiente
Aceite de transmisión		Derivado petróleo	Daño al ambiente
Aceite hidráulico		Derivado petróleo	Daño al ambiente
Aceite de caja		Derivado petróleo	Daño al ambiente
Grasa lubricante		Derivado petróleo	Daño al ambiente; Tóxico para la salud
Limpiador de contactos	Fluidos de servicios	Líquido inflamable	Inflamable; Riesgos para la salud y al Ambiente
Fluido frenos		Alcalino (pH 8,5)	Riesgo para la salud
Refrigerante de vehículo		Etilenglicol	Tóxico para la salud
Adhesivo	Pegamentos y anti adhesivos	Inflamable	Inflamable
Trabarosca		Irritante	Tóxico para la salud
Sellador		Irritante	Tóxico para la salud
Diesel ACPM	Combustibles de vehículo	Líquido inflamable	Líquido inflamable
Extintor polvo seco	Materiales y equipos de servicios	Gas comprimido	Gases a presión
Batería plomo ácido		Acido (pH 3)	Corrosivo
Residuos contaminados con hidrocarburos	Desechos peligrosos	Derivado petróleo	Daño al ambiente
Residuos contaminados con solventes y pinturas		Derivado petróleo	Daño al ambiente
Agua hidrocarburada		Derivado petróleo	Daño al ambiente
Aceite usado		Derivado petróleo	Tóxico para la salud; Daño al ambiente
Refrigerante de vehículo usado		Etilenglicol	Tóxico para la salud Daño al ambiente

Fuente: Elaboración propia.

Almacenamiento e Incompatibilidad de Sustancias Químicas

En concordancia con la definición de los peligros propios de las sustancias, como forma de clasificación de estas, el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España (INSHT, 2014) señala que la peligrosidad de un almacenamiento se determina principalmente a partir de las características de los productos químicos almacenados y de su cantidad. De modo que el primer paso para establecer la peligrosidad de los almacenamientos es identificar los peligros de los productos químicos almacenados y precisar la cantidad que se tiene de cada uno ellos.

El almacenamiento adecuado de productos químicos es importante ya que, aunque no se utilicen, por el hecho de estar almacenados pueden constituir un riesgo. Por ejemplo, las sustancias inflamables y oxidantes pueden causar o agravar un incendio. Las corrosivas pueden provocar daños en las personas o deteriorar las propiedades de los materiales con los que entren en contacto. Las sustancias tóxicas pueden perjudicar a las personas expuestas, y los gases comprimidos pueden provocar asfixia o intoxicación de las personas trabajadoras en caso de fuga.

Por otra parte, el INSST (2023), señala que algunos agentes químicos son incompatibles entre sí, pudiendo provocar un incendio o explosión cuando se mezclan, así como liberar gases tóxicos, inflamables o corrosivos y/o causar corrosión de los recipientes que los contienen y provocar fugas. Por ello es muy importante identificar todos los agentes químicos que vayan a almacenarse, garantizando un almacenamiento seguro, con el fin de evitar o minimizar la exposición tanto de las personas trabajadoras, como de instalaciones o poblaciones vecinas en caso de ocurrir incidentes.

Gómez (2019) indica que el almacenamiento de productos químicos se refiere a la infraestructura inmediata para soportar el proceso de almacenamiento, definiéndolo como el conjunto de recipientes que puedan contener productos químicos sólidos, líquidos o gaseosos,

ubicados en el interior o exterior de una empresa, incluidos tanques, cubetas de retención, las vías de circulación y separación, los conductos de conexión (líneas o tuberías) y las zonas destinadas a carga, descarga y tránsito.

Es importante realizar un inventario de todos los productos químicos y de la posibilidad de reacciones peligrosas entre ellos, de condiciones ambientales que alteren la estabilidad de los productos o del riesgo de incendio y explosión. Para ello, debe obtenerse la información en las Fichas de Seguridad de los productos (FDS) con el objeto de agruparlos y segregarlos adecuadamente.

Además de las incompatibilidades de los agentes químicos peligrosos entre sí, debe evaluarse la compatibilidad con otros agentes y materiales almacenados, recipientes, equipos o sistemas contraincendios, etc., tales como:

- Materiales combustibles, como madera o papel, que incrementan la carga de fuego y el agravamiento de las consecuencias ante un posible incendio.
- Luz solar directa, que, ante la presencia de sustancias inflamables, podría facilitar la materialización de un incendio.
- Materiales de los recipientes, tales como de aluminio, que pueden reaccionar con soluciones alcalinas fuertes.
- Fuentes de ignición presentes en las áreas de trabajo, incompatibles con ciertos agentes químicos peligrosos.
- Equipos o sistemas contra incendios, el agua de los sistemas contraincendios puede no ser compatible con algunos agentes químicos peligrosos.

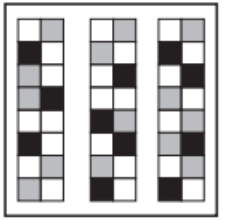
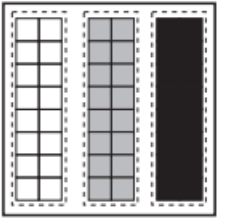
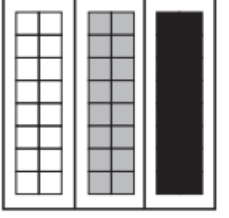
Evaluación de Incompatibilidad

La identificación de los agentes químicos peligrosos y su posible incompatibilidad es esencial para el correcto almacenamiento y para la reducción del riesgo. Una vez identificada la peligrosidad, se hace necesario realizar un proceso de análisis de la incompatibilidad, a fin de adoptar decisiones de segregación o separación de los recipientes de productos químicos del almacén (Fajardo, 2022).

De acuerdo con la legislación española, citado por el INSST (2023), el almacenamiento conjunto es aquel que “en superficie, se encuentran dentro del mismo cubeto o en un mismo recipiente subdividido; en el interior de edificios se encuentran dentro de la misma sala y en los enterrados se encuentran en un mismo recipiente subdividido”.

Si se llevan a cabo ciertas restricciones, y se adoptan las medidas de seguridad adecuadas, se pueden almacenar conjuntamente determinados agentes químicos peligrosos de distintas clases en una misma área de almacenamiento. Previamente, debemos diferenciar los conceptos de almacenamiento sin restricciones, separado e independiente (Figura 1).

Figura 1*Tipos de almacenamiento de sustancias químicas*

Tipo de almacenamiento	Imagen de la disposición	Descripción
Almacenamiento sin restricciones		Cuando recipientes se pueden ubicar sin restricciones, pues no presentan incompatibilidad.
Almacenamiento separado		Cuando los recipientes están ubicados dentro del mismo sector de incendio, separados unos de otros mediante, por ejemplo, distancias, paredes, armarios de material no combustible, productos no combustibles o dispositivos de contención independientes.
Almacenamiento independiente		Cuando los recipientes se encuentran almacenados en áreas o sectores de incendio independientes. Puede ser almacenamiento cerrado y almacenamiento abierto.

Fuente: INSST, 2023.

La separación (almacenamiento separado) es la disposición de diferentes recipientes dentro de un mismo área o sector de incendio, con una distribución determinada e incluyendo elementos físicos separadores de sus riesgos como; cubetas de retención, paredes delimitadoras, armarios de material no combustible etc.

La segregación (almacenamiento independiente) se basa en la colocación de diferentes recipientes en áreas de incendio o sectores de incendio independientes. Dos almacenes se

consideran independientes entre sí cuando los riesgos específicos de cada uno de ellos no incidan sobre el otro.

Gómez, 2019, propone un esquema de evaluación de compatibilidad de sustancias, mezclas y reacciones, basado en seis (6) tipos de peligros básicos: Explosivos, comburentes, inflamables, tóxicos, corrosivos y nocivos, expresados en la figura siguiente.

Figura 2

Evaluación de compatibilidad de sustancias químicas, basado en seis tipos de peligros básicos

Sustancia	Explosivos	Comburentes	Inflamables	Tóxicos	Corrosivos	Nocivos
Explosivos	Si	-	-	-	-	-
Comburentes	-	Si	-	-	-	(2)
Inflamables	-	-	Si	-	(1)	Si
Tóxico	-	-	-	Si	Si	Si
Corrosivos	-	-	(1)	Si	Si	Si
Nocivos	-	(2)	Si	Si	Si	Si

(1) Se podrán almacenar conjuntamente si los productos corrosivos no están envasados en recipientes frágiles.
 (2) Se podrán almacenar juntos si se adoptan ciertas medidas preventivas. Son criterios generales.

Fuente: Gómez, 2019.

Criterios de Incompatibilidad y Matrices de Compatibilidad Química

Hena (2015) indica que es de gran importancia que los productos químicos sigan criterios claros de almacenamiento según incompatibilidad, considerando nueve grupos que pueden llegar a generar riesgos de importancia en su almacenamiento:

1. Inflamables
2. Oxidantes
3. Reductores
4. Ácidos y bases fuertes concentrados

5. Productos reactivos con el agua

6. Tóxicos

7. Peroxidantes

8. Pirofóricos

9. Gases comprimido

Los cinco primeros grupos dan lugar a reacciones fuertemente exotérmicas, liberándose cantidades importantes de calor en forma violenta, incluso explosiva, si entra en contacto con productos incompatibles.

Los productos reactivos con el agua, además de producir reacciones violentas o de liberar productos altamente tóxicos, dificultan las tareas de extinción en caso de incendio.

Los tóxicos requieren zonas de almacenamiento ventiladas, en especial los de alta volatilidad.

Los peroxidables son productos que pueden formar peróxidos inestables, debiéndose almacenar en ambientes frescos y oscuros.

Los pirofóricos entran en combustión en contacto con el aire y en ocasiones con el agua; son necesarias medidas especiales de confinamiento.

Por último, los gases plantean, además de los riesgos inherentes al producto, riesgos por la elevada energía cinética que poseen al estar comprimidos en un recipiente.

Por su parte, la Norma Oficial Mexicana 54 (NOM, 1993) define ciento siete (107) grupos reactivos y a partir de ellos diseñó una tabla de incompatibilidad, con la cual se hacen intersecciones en una tabla de doble entrada y si resulta en algunas de las reacciones contenidas en el código de reactividad (ver cuadro), se consideran sustancias incompatibles.

Figura 3

Código de reactividad de sustancias químicas

Código de Reactividad	Consecuencias de la Reacción
H	Genera calor por reacción química.
F	Produce fuego por reacciones exotérmicas violentas y por ignición de mezclas o de productos de la reacción.
G	Genera gases en grandes cantidades y puede producir presión y ruptura de los recipientes cerrados.
gt	Genera gases tóxicos.
gf	Genera gases inflamables.
E	Produce explosión debido a reacciones extremadamente vigorosas o suficientemente exotérmicas para detonar compuestos inestables o productos de reacción.
P	Produce polimerización violenta, generando calor extremo y gases tóxicos e inflamables.
S	Solubilización de metales y compuestos metales tóxicos.
D	Produce reacción desconocida. Sin embargo, debe considerarse como incompatible la mezcla de los residuos correspondientes a este código; hasta que se determine la reacción específica.

Fuente: NOM 54, 1993.

Este tipo tablas de doble entrada, denominadas Matrices de Compatibilidad Química, son un documento en que se establece la afinidad entre sustancias y mezclas químicas con base en la clase y el tipo de sustancia, a fin de conocer cómo se deben almacenar y transportar sin que representen algún tipo de peligrosidad para la empresa o sus colaboradores (Fajardo, 2022).

Marco Legal y Normativo

En los siguientes cuadros se listan los decretos, resoluciones y normativas colombianas, que, desde el nivel más general, hasta lo específico definen el marco legal en materia de riesgo químico, clasificación y estandarización de peligros de sustancias químicas, así como los más relevantes estándares internacionales en la materia.

Tabla 3*Legislación colombiana para el manejo del riesgo químico*

Legislación nacional (Decreto, Resolución)	Descripción / Título	Alcance y aplicabilidad para el estudio
Resolución 2400 de 1979	Por la cual se establecen disposiciones sobre vivienda, higiene y seguridad en los establecimientos de trabajo.	Se considera el riesgo debido a exposición a sustancias químicas como un peligro asociado al ambiente de trabajo y se define la responsabilidad del empleador en disponer de ambientes adecuados de trabajo.
Ley 55 de 1993	Por medio de la cual se aprueba el Convenio sobre la Seguridad en la utilización de los Productos Químicos en el Trabajo, surgido de la Reunión de la Conferencia General de la OIT, Ginebra, 1990.	Indica la necesidad de etiquetado y marcado de las sustancias, de su clasificación basada en peligrosidad y de la responsabilidad de proveedores en proporcionar las hojas de seguridad, así como la responsabilidad de empleadores y los derechos y deberes de los empleados.
Decreto 1496 del 2018	Por el cual se adopta el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos.	Se define la correcta clasificación y etiquetado de productos químicos, así como la responsabilidad de expendedores, empleadores y trabajadores usuarios de los productos químicos.
Resolución 773 de 2021	Sobre las acciones que deben desarrollar los empleadores para la aplicación del Sistema Globalmente Armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos en los lugares de trabajo.	Establece las condiciones y características de Etiquetas y Fichas de Seguridad para productos químicos. Define también las obligaciones de empleadores, trabajadores y ARL.
Resolución 7 de 2011	Por la cual se adopta el Reglamento de Higiene y Seguridad del Crisotilo y otras Fibras de uso similar	Establece los procedimientos y prácticas de control para reducir la exposición laboral al polvo de crisotilo y de otras fibras de uso similar en los ambientes de trabajo, tal como los asbestos presentes en las bandas de frenos en la industria y el mantenimiento automotriz.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4

Normativa técnica nacional e internacional para el manejo de riesgo químico

Norma Técnica o Estándar nacional o internacional	Descripción / Título	Alcance y aplicabilidad para el estudio
OSHA 29 CFR 1910 de 2017	Reglamento de la industria general.	Subparte N, Manejo y almacenamiento de materiales, referido a la correcta disposición física de materiales y al orden, limpieza y despeje de áreas de almacenamiento.
NTC 4435 del 2010	Transporte de mercancías. Hojas de Datos de Seguridad para Materiales (MSDS).	Sección 7, Manejo y almacenamiento.
GTC-45 de 2012, ICONTEC	Identificación de peligros, evaluación y valoración de riesgos en Seguridad y Salud en el Trabajo.	Este estándar internacional (ISO) y la guía técnica nacional (GTC) exponen la metodología de Jerarquización de Controles, de acuerdo a su efectividad en reducción de riesgos, basado en la actuación sobre la fuente, el medio o el receptor del peligro.
ISO-45001 de 2018	Sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo. Requisitos con orientación para su uso.	Define categoría de riesgos al fuego en edificaciones, requisitos de acceso a la edificación, prevención de la propagación de fuego desde el exterior e interior de las edificaciones.
NSR-98	Título J, Requisitos de protección contra el fuego en edificaciones.	Propone una clasificación de edificaciones de acuerdo al tipo de ocupación (L-1, para edificaciones de reunión deportiva, como gimnasios) y establece requisitos para zonas comunes dentro de las edificaciones, como señalización, iluminación, alarmas, medios de evacuación.
NSR-10	Título K, Requisitos complementarios.	
NFPA-3, 72, 170, 551	Norma para puesta en marcha de sistemas de protección contra incendios. Código Nacional de Alarma y Señalización de Incendios. Normas para seguridad contra incendios y símbolos de emergencia. Guía para la evaluación de evaluaciones de riesgos de incendios.	

Fuente: Elaboración propia.

7. Metodología

Enfoque y Alcance de la Investigación

El presente estudio es una monografía que, al ser planteada como un ejercicio de revisión bibliográfica, se considera un estudio de tipo documental, que identificó metodologías de evaluación de incompatibilidad de sustancias químicas aplicables en los servicios de mantenimiento automotriz.

La investigación de tipo documental, que corresponde al presente estudio, consiste en un análisis de la información escrita sobre un determinado tema, con el propósito de establecer relaciones, diferencias, etapas, posturas o estado actual del conocimiento respecto del tema objeto de estudio (Bernal, 2006). Para Cázares, *et al*, citado por Bernal (2006), las principales fuentes documentales son: documentos escritos (libros, periódicos, revistas, actas notariales, tratados, conferencias transcritas, etc.), documentos fílmicos (películas, diapositivas, etcétera) y documentos grabados (discos, cintas, casetes, disquetes, etc.).

Descripción de Estrategia de Búsqueda

La estrategia de búsqueda de información se realizó mediante la definición de las palabras clave (“key words”) a través de los tesauros siguientes:

- OECD Macrothesaurus de la OCDE
- ILO Tesauro de la Organización Internacional del Trabajo
- DeCS/MeSH Descriptores en Ciencias de la Salud
- GEMET, Tesauro general ambiental multidiomas

Utilizando como entradas “almacenaje de sustancias químicas”, “incompatibilidad química”, “riesgo químico industrial” y “mantenimiento de maquinarias y equipos”, se obtuvieron los resultados siguientes:

- Materiales peligrosos
- Sustancias peligrosas
- Seguridad de productos
- Sustancias tóxicas
- Productos químicos
- Almacenamiento seguro
- Evaluación de almacenamiento
- Peligros en almacenamiento
- Industria mecánica
- Mantenimiento

Utilizando estas palabras claves, se articularon las siguientes ecuaciones de búsqueda, utilizando el operador booleano “AND”, de tal modo que, al construir las ecuaciones de búsqueda se pueda garantizar que los documentos sean más acotados:

- Almacenamiento seguro AND Materiales peligrosos AND Industria mecánica.
- Peligros en almacenamiento AND Sustancias peligrosas AND Industria mecánica.
- Peligros en almacenamiento AND Sustancias peligrosas AND Mantenimiento.
- Almacenamiento seguro AND Materiales peligrosos AND Mantenimiento.

Estas ecuaciones de búsqueda se corrieron en las bases de datos SCIENCE DIRECT, SPRINGER LINK, SAGE JOURNALS, SCOPUS y EPSCOHOST FUENTE ACADEMICA, para lo cual se utilizarán los criterios de búsqueda siguientes:

- Tipo de documento: Artículos originales y Revisiones.
- Período de observación: 2020 al 2024.
- Idiomas: inglés y español.

En virtud que la temática planteada es de mención y uso regular en instituciones de regulación y estandarización en materia de SST, se listan instituciones reconocidas en el estudio de peligros producto de uso de sustancias químicas en el trabajo, que pudieran contar con publicaciones y trabajos en el área de interés:

- Agencia Internacional para la investigación sobre el Cáncer de la Organización Mundial de la Salud (IARC-OMS).
- Asociación Nacional para la protección contra el fuego de los EEUU (NFPA).
- Asociación Nacional Oceánica y Atmosférica de los EEUU (NOAA).
- Instituto Nacional de Salud y Seguridad en el Trabajo de España (INSST).
- INCOTEC, Normas Técnicas Colombianas.
- Instituto Nacional de Salud de Colombia.
- Normas Oficiales Mexicanas (NOM).
- Organización de las Naciones Unidas (ONU).
- Organización Internacional de Trabajo (OIT).

Estas instituciones nacionales e internacionales establecen estándares y normativas técnicas en temas de interés para el estudio, tales como sustancias químicas presentes en la

industria, peligros asociados, afecciones a la salud y enfermedades producto de contacto con sustancias químicas en el trabajo, manejo de emergencias con sustancias químicas, así como metodologías de estudio de la compatibilidad entre sustancias químicas.

Instrumentos

A fin de consolidar, clasificar y analizar las búsquedas realizadas en las bases de datos electrónicas seleccionadas, se construyó una base de datos que permita sistematizar la información, con los elementos más relevantes de cada documento. Esta base de datos incluyó los campos siguientes:

- Título del documento, indicando el nombre del estudio o artículo.
- Tipo de autor, para señalar si se tratada de autores corporativos (institucionales) o personales.
- Nombre de autor o autores.
- Año de publicación, considerando el lapso entre 2020 y 2024.
- Base de datos, señalando la BD de donde proviene el hallazgo documental.
- Fuente, referido al nombre completo y ubicación de la publicación o revista donde aparece el artículo o documento en referencia.
- Tipo de estudio, a fin de indicar si son documentos originales, revisiones o documentos técnicos.
- Resumen, donde se incorpora el abstract o resumen que hacen los autores del artículo.
- Sector económico, a fin de clasificar el estudio por sector económico considerado.

- Metodología de evaluación de compatibilidad química referenciada, a fin de indicar el método de compatibilidad de sustancias químicas evaluado o considerado en el hallazgo documental.
- Conclusiones del documento.
- Características de la metodología, a fin de evaluar si el hallazgo documental revisa metodologías de compatibilidad química, tal como establece el primer Objetivo Específico del presente estudio.
- Evaluación de la metodología en el sector automotriz, para indicar si se revisaron metodologías de compatibilidad de sustancias químicas específicas para el sector de interés, de acuerdo a lo definido en el segundo Objetivo Específico del presente estudio.

Como anexo del presente documento se incluye la base de datos en MS Excel construida, con la información de los hallazgos documentales.

Análisis de Información

La información se ordenó de acuerdo al interés para los temas de estudio. La información de soporte teórico, que brindarán el marco conceptual al estudio, se analizó y eventualmente será citada en el estudio.

Por otra parte, la revisión y análisis de metodologías para el estudio de compatibilidad de sustancias químicas, con fines de almacenamiento y manejo seguro en los sitios de trabajo, se realizará de acuerdo con los siguientes criterios:

- Metodologías provenientes de organizaciones, investigadores o instituciones reconocidas nacional e internacionalmente.
- Metodologías de uso frecuente en la industria automotriz.
- Metodologías de uso frecuente para inventarios de sustancias químicas.
- Metodologías que permitan analizar más de un par de sustancias en contacto simultáneo.
- Metodologías que además de analizar compatibilidad, generen propuestas de medidas de prevención y control ante reacciones no controladas.

Consideraciones Éticas

En este estudio, se garantizó la protección de la propiedad intelectual de los autores mediante la adecuada citación de fuentes bibliográficas. Además, en relación con la información reservada que pertenece a la institución, se aseguró contar con los permisos y autorizaciones necesarios para acceder, recopilar y manejar dicha información en el desarrollo del proyecto. El acceso a esta información se llevó a cabo a través de la plataforma de la Corporación Universitaria Minuto de Dios, la cual cuenta con las autorizaciones pertinentes para su acceso, revisión y citación.

8. Cronograma

A fin de establecer una definición de macro actividades que se requieren para llevar adelante el estudio, así como establecer los tiempos estimados para su desarrollo, se muestra la tabla siguiente.

Tabla 5*Cronograma de ejecución del proyecto por macroactividades*

Actividad	Tiempo (2023-2024)		Producto
	Desde	Hasta	
Primera versión de anteproyecto	15 Nov	16 Dic	Objetivos, justificación, pregunta problema, marco teórico, legal y normativo
Revisión del anteproyecto y estrategia metodológica.	01 Feb	25Feb	Anteproyecto: Objetivos, justificación, pregunta problema, marco teórico, legal y normativo, estrategia metodológica.
Revisión de Metodologías para el estudio de compatibilidad de sustancias químicas.	26 Feb	20 Mar	Listado de metodologías para el estudio de compatibilidad de sustancias químicas y cuadro comparativo de acuerdo a los criterios de revisión.
Comparación de metodologías para uso de servicios de mantenimiento automotriz y Conclusiones.	01 Abr	04May	Establecimiento de conclusiones y propuestas. Finalización del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

9. Resultados y Discusión

En el proceso del desarrollo de esta investigación, se hizo la consulta en bases de datos científicas para conocer investigaciones, documentos técnicos o revisiones, que puedan aportar información pertinente y permita responder al objetivo planteado. Debido a que hay múltiples tipos de bases de datos, que puede hacer el proceso de búsqueda extensa en el tiempo, se seleccionaron aquellos que mostraran fortalezas en temas de ingeniería, tecnología, ambiente, seguridad, salud y en química, seleccionando entonces, las siguientes cinco bases de datos: Science Direct, Scopus, Springer Link, EBSCOhost Fuente Académica y Sage Journals. Se tomaron las ecuaciones de búsqueda citadas en el capítulo anterior, tanto en idioma español como en inglés, de acuerdo al tipo de documentos que maneja la base de datos, estas son:

- a. Almacenamiento seguro AND Materiales peligrosos AND Industria mecánica
Safe storage AND Hazardous materials AND Mechanical industry
- b. Peligros en almacenamiento AND Sustancias peligrosas AND Industria mecánica
Hazards in storage AND Hazardous substances AND Mechanical industry
- c. Almacenamiento seguro AND Materiales peligrosos AND Mantenimiento
Safe storage AND Hazardous materials AND Maintenance
- d. Peligros en almacenamiento AND Sustancias peligrosas AND Mantenimiento
Storage Hazards AND Hazardous Substances AND Maintenance

En todas las bases de datos, se hizo la revisión en un periodo tiempo de cinco años (2020 al 2024), filtrando los resultados en Artículos originales (*original papers*) y Revisiones (*review articles*). Con estos filtros se hizo la revisión, con los resultados que se presentan a continuación.

Consultando la biblioteca **Scopus**, se hizo la búsqueda en idioma inglés con los resultados en las siguientes ecuaciones: Safe storage AND Hazardous materials AND Mechanical industry (409 resultados); Hazards in storage AND Hazardous substances AND Mechanical industry (181 resultados); Safe storage AND Hazardous materials AND Maintenance (138 resultados) y Storage Hazards AND Hazardous Substances AND Maintenance (10 resultados). Adicionalmente, se hizo otra búsqueda con la ecuación Risk Management AND compatibility AND chemistry (472 resultados). En total, fueron 1.210 consultas.

En la base de datos **Springer Link**, igualmente, se hizo la búsqueda en idioma inglés, con los resultados en las siguientes ecuaciones: Safe storage AND Hazardous materials AND Mechanical industry (645 resultados); Hazards in storage AND Hazardous substances AND Mechanical industry (542 resultados); Safe storage AND Hazardous materials AND Maintenance (756 resultados) y Storage Hazards AND Hazardous Substances AND Maintenance (113 resultados). Adicionalmente, se hizo otra búsqueda con las ecuaciones Risk Management AND compatibility AND chemistry (52 resultados); GHS AND Chemistry (72 resultados) y Risk Management AND GHS (69 resultados). En total fueron 2.249 consultas.

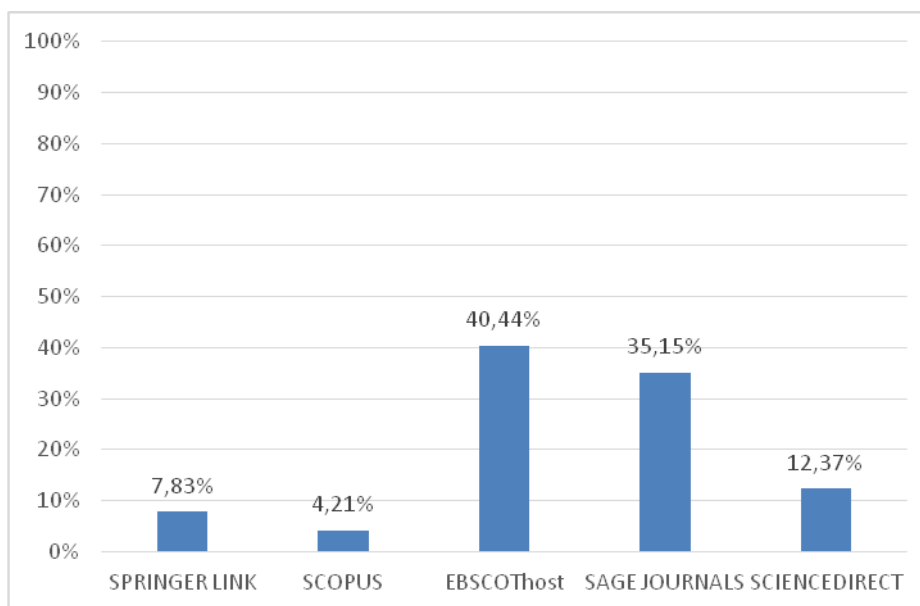
En la base de datos **Sciencedirect**, la búsqueda fue en idioma inglés, con los siguientes resultados: Safe storage AND Hazardous materials AND Mechanical industry (1244 artículos), Hazards in storage AND Hazardous substances AND Mechanical industry (818 artículos), Safe storage AND Hazardous materials AND Maintenance (996 artículos), Storage Hazards AND Hazardous Substances AND Maintenance (498 artículos). En total fueron 3.556 consultas.

En la BD **EBSCOhost** se tuvieron los siguientes resultados: Safe storage AND Hazardous materials AND Mechanical industry (3604 artículos); Hazards in storage AND Hazardous substances AND Mechanical industry (3072 artículos); Safe storage AND Hazardous materials AND Maintenance (2963 artículos) y Storage Hazards AND Hazardous Substances AND Maintenance (982 artículos), para un total de 11.621 consultas.

Finalmente, en la biblioteca **Sage Journal**, la búsqueda fue en idioma inglés con los mismos criterio de las otras BD, con los siguientes resultados: Safe storage AND hazardous material AND mechanical industry (3647 artículos); Hazard in storage AND hazardous substances AND mechanical industry (sin resultados); Safe storage AND hazardous materials AND maintenance (6453 artículos) y Storage hazards AND Hazardous substances AND maintenance (sin resultados), para un total de 10.100 consultas.

Figura 4.

Documentos revisados por base de datos científicas consultadas

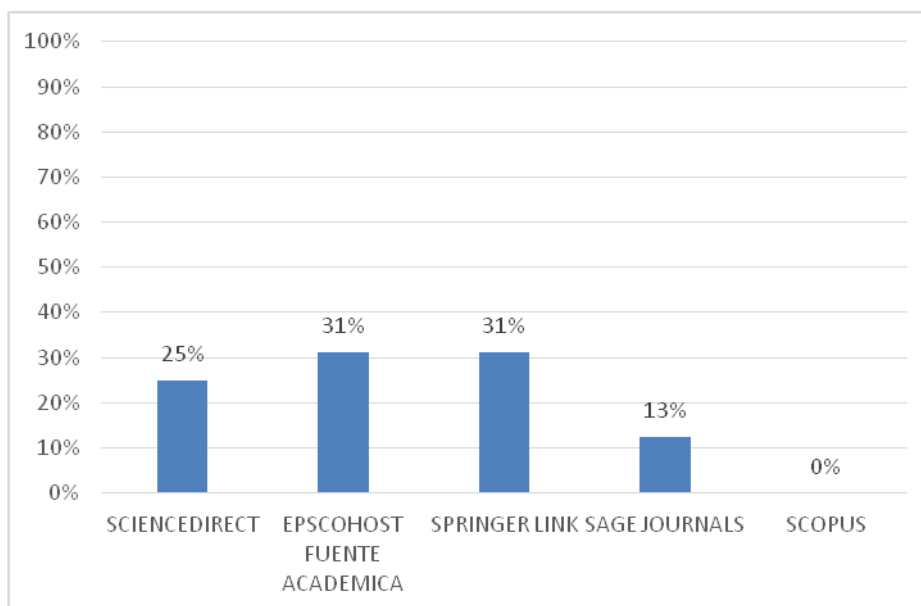


Fuente: Elaboración propia, 2024

Como se muestra en la Figura 4, la revisión en las cinco (5) bases de datos, fue exhaustiva, logrando consultar un total de 28.736 documentos, de los cuales, se logró compilar 16 documentos que al analizar su contenido poseen información relevante que responde a las ecuaciones de búsqueda y criterios de interés del estudio de investigación. De los dieciséis (16) artículos seleccionados, 13% (2 documentos) se ubicaron en Sage Journal; 31% (5 documentos) fueron tomados de la biblioteca Springer Link; 31% (5 documentos) fueron tomados de la biblioteca EBSCOhost, y 25% (4 documentos) se encontraron en ScienDirect. En EBSCOhost Fuente Académica, una de estas investigaciones es del año 2017, la cual se incluyó en la investigación por su importancia con el tema de interés.

Figura 5.

Cantidad de documentos encontrados en las bases de datos científicas consultadas

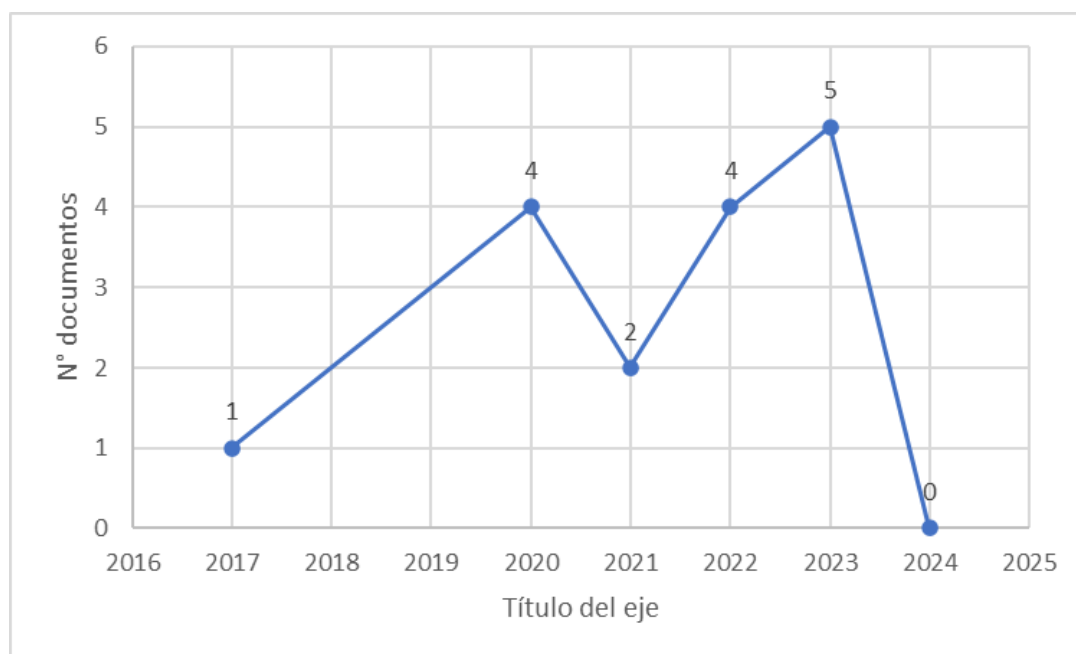


Fuente: Elaboración propia, 2024

En la figura anterior se observa que a pesar que no se encontró una gran cantidad de documentos de interés para los objetivos de la investigación, se pudo constatar que estas bases de datos permiten hacer una búsqueda amplia de la información relacionada. En general, las bases de datos Springer Link, EBSCOHost, y Sciencedirect se encontró una cantidad parecida de documentos, con lo cual se pudiera afirmar que el estado de la investigación de estas, es aproximadamente el mismo.

Figura 6.

Cantidad de documentos encontrados por año en las BD científicas consultadas

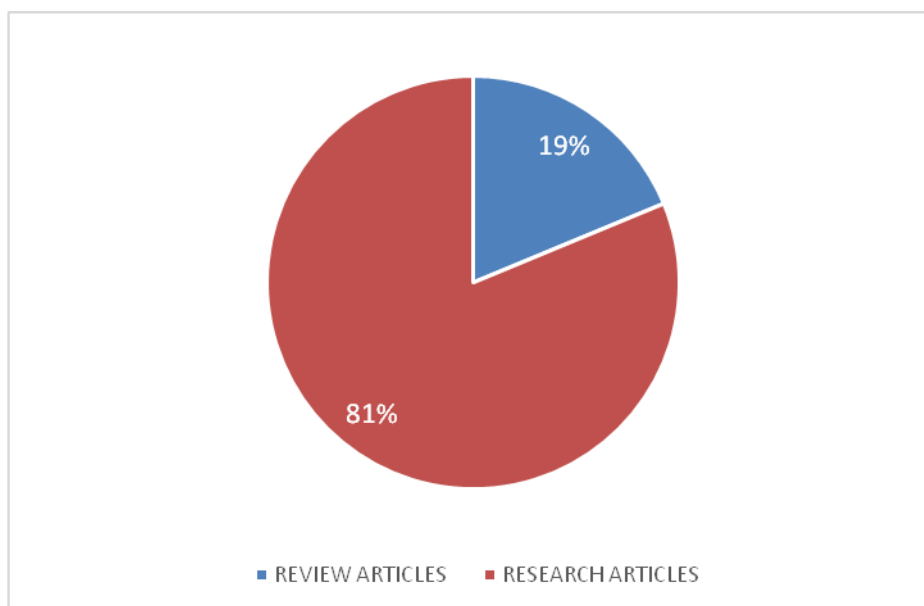


Fuente: Elaboración propia, 2024

En el análisis de los años de publicación de los documentos consultados en las Bases de datos, indica que el desarrollo de aspectos asociados al tema de investigación ha aumentado con el tiempo. En el 2023 fue donde se encontró mayor cantidad de documentos, pero en general existe un bajo nivel de investigación en esta área, lo que permite afirmar que se requiere mayor desarrollo de investigación en esta importante área como lo es la seguridad química.

Figura 7.

Cantidad de documentos por tipo de investigación en las bases de datos consultadas



Fuente: Elaboración propia, 2024

En la Figura 7 se aprecia el total de artículos que tienen relevancia para el tema en estudio, de estos, más del 80% son artículos nuevos, reafirmando que los estudios de compatibilidad química es un área nueva en pleno desarrollo de conocimiento. En total, fueron 16 documentos que se revisaron a detalle para encontrar en ellos respuestas a los objetivos planteados en esta investigación, discusión que se presenta a detalle más adelante. Cada uno de los 16 documentos presentan al tipo de información que ayuda a establecer el nivel de desarrollo de conceptos como peligrosidad de químicos, compatibilidad de químicos y almacenamiento seguro de químicos.

Es de resaltar que a pesar de la gran cantidad de documentos consultados (28.736), una cantidad muy baja (menos del 1%), contienen alguna información que puede dar elementos para responder al objetivo del presente estudio de investigación.

A continuación, se presenta un resumen de estos, asociados a los objetivos específicos de la investigación y en relación a las ecuaciones de búsqueda: Almacenamiento seguro, materiales peligrosos, industria mecánica, peligros en almacenamiento, sustancias peligrosas y mantenimiento. Igualmente, se incorpora en la discusión otros documentos y software identificados en otras fuentes de información como plataformas gubernamentales y multilaterales.

El análisis de los documentos proporcionados revela una serie de aspectos cruciales en relación con la gestión de sustancias peligrosas, el almacenamiento seguro y la evaluación de riesgos en diversos entornos industriales y de transporte.

Manejo seguro de químicos peligrosos

En las actividades de manejo de químicos peligrosos, independientemente del sector, se identifican tres fases fundamentales: transporte, utilización y disposición final. Diversas metodologías y estándares están dirigidos a minimizar los riesgos asociados a un proceso inadecuado. El manejo seguro de estos químicos es esencial en varios entornos laborales, incluido el sector automotriz. García Fernández (2023) hizo una diferenciación entre productos peligrosos y mercancías peligrosas. La peligrosidad de las mercancías está definida en base a como se transporta, lo cual se rige en las recomendaciones relativas al transporte de mercancías peligrosas. Mientras que la peligrosidad de los productos está sistematizada en el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA). Tanto el transporte de mercancías como el uso de los productos muestran riesgos que pueden generar impactos a las instalaciones, las personas y al ambiente.

La metodología propuesta por Liu et al. (2024) se centrada en la optimización de rutas en el transporte de sustancias químicas peligrosas, destaca la importancia de abordar los riesgos asociados con el movimiento de estos materiales, donde la gestión segura de estos productos es

fundamental. Su enfoque en la reducción de riesgos inherentes y costos asociados, así como en la garantía de una distribución equitativa en el tiempo, resulta particularmente relevante en el sector de servicios de mantenimiento automotriz.

Así mismo, es crucial considerar el marco proporcionado por el Sistema Globalmente Armonizado (SGA). Este sistema de comunicación de riesgos cubre todos los químicos definidos como peligrosos que se encuentran en lugares de trabajo, transporte, productos de consumo, pesticidas y medicamentos. A través de la clasificación de los peligros químicos y la comunicación de estos peligros mediante etiquetas y Fichas de Datos de Seguridad (FDS), el SGA garantiza la seguridad en el manejo de productos químicos peligrosos. (Ostad-Ali-Askari, K. 2022).

Vegosen y Martin (2020) afirma que el SGA igualmente desarrolla un sistema de códigos (H-Codes) para categorizar los riesgos de los químicos de acuerdo con información de diferentes Agencias de Salud y de investigación, ya que actualmente existen más de 85.000 diferente productos químicos, por lo que encontrar información adecuada y validada de estos productos es difícil y muchas veces la información no es suficiente para diseñar controles adecuados, a fin de minimizar el riesgo en sus diferente etapas de manejo, particularmente en su almacenamiento.

Kennedy et al. (2022) proporciona unas pautas fundamentales para el transporte y almacenamiento seguro de sustancias químicas, con énfasis en el manejo y disposición adecuada de medicamentos. Sus recomendaciones abordan la adaptabilidad y aplicación en el transporte in situ de sustancias químicas, destacando métodos para evitar la contaminación ambiental en caso de derrame o escape. En el sector automotriz, es esencial adoptar medidas para prevenir fugas y por tanto la contaminación durante el transporte de estos productos químicos. La metodología propuesta se centra en minimizar la exposición accidental y garantizar un almacenamiento seguro.

Se enfatiza la necesidad de conocer y establecer procedimientos alineados con regulaciones aplicables para evitar incidentes, garantizando también la seguridad del personal.

García Fernández (2023), afirma que la peligrosidad de almacenamiento se determina principalmente a partir de la peligrosidad intrínseca de los productos químicos y su cantidad almacenada. En base a estos dos criterios, se hace el diseño de los espacios o bodegas donde se hará el almacenamiento, para lo cual hay varios criterios de diseño, con medidas preventivas para evitar accidentes con estos productos, ya sea derrames, incendios, explosiones o exposición a estos. Es por ello que es fundamental que las personas que trabajan en estos espacios estén informadas sobre los riesgos a los cuales están expuestos al manipular estos productos.

El desconocimiento de estos aspectos puede desencadenar accidentes con pérdidas materiales y humanas, sin embargo, estos criterios no son ampliamente difundidos. Nirupama G. Zhe (2020), señala en su análisis de incidentes ocurridos con sustancias químicas en laboratorios, que los peligros más frecuentes son por vertidos, explosiones e incendios; indicando que es en almacenamiento y manejo inadecuado que ocurren el 40% de los casos. Así mismo, en un estudio hecho por Housni et al. (2022) a laboratorios de investigación en un periodo ente 2016 y 2021, concluyó que sólo el 5,5% de ellos tomaban en consideración la compatibilidad de las sustancias químicas en su almacenamiento y sólo un 8,3% tenía estanterías adaptadas para almacenar productos químicos de manera segura.

Otro aspecto para tomar en consideración son las características intrínsecas de los productos o sustancias químicas. Estas características tanto a nivel industrial, donde se manejan grandes cantidades, como en bodegas pequeñas, debe tomar en consideración sus características de inflamabilidad, explosividad, reactividad y toxicidad.

Vallejo et al (2020), estudiando el manejo seguro de sustancias químicas en la industria de confección de calzado, constatan la importancia de estudiar la mezcla de sustancias químicas, y

sus incompatibilidades, al definir como principales causantes de incidentes en este sector, la mezcla de sustancias, la alta exposición y la inadecuada disposición de los residuos.

Aliabadi et al. (2021), establecieron otros parámetros que pueden generar efectos dominó en una instalación de tanques industriales, al momento de ocurrir un accidente, entre ellos la ubicación, separación y características de los productos que se almacenaban. Igualmente, Domínguez et al. (2023), así como Zarei et al. (2022) evalúan metodologías de análisis de riesgos, el primero en la industria manufacturera de autopartes y el segundo en el transporte ferroviario de materiales peligrosos. Sin bien ambos trabajos no discuten los riesgos generados por incompatibilidad de las sustancias químicas, coinciden en la necesidad de comunicar los peligros a los trabajadores, incluyendo mapas de peligros por sectores de la empresa. Estos criterios se pueden aplicar en baja escala, porque el propósito es evitar condiciones inseguras que puedan dar lugar a accidentes en manejo de productos peligrosos.

Más específicamente, en talleres de mantenimiento automotriz no se han desarrollado estudios enfocados a almacenamiento y compatibilidad de químicos, sin embargo James et al. (2022) hicieron una evaluación del desempeño del mantenimiento en talleres en la India. Entre los criterios reportados, definieron el contacto de los trabajadores con químicos como metales pesados, desengrasantes, disolventes, ácidos de batería, partículas de pintura en aerosol, amianto procedente de elementos tribológicos, entre otros. No desarrollan, sin embargo, aspectos para evaluar el almacenamiento de químicos. En otro estudio, Haoyang et al. (2022) hacen énfasis en las medidas de sustitución para el manejo del riesgo químico, mediante la promoción de materiales alternativos en la industria de producción de baterías.

Almacenamiento de productos peligrosos y su compatibilidad

Fernández García (2023) toma en consideración el documento Real Decreto de España 656/2017, del 23 de junio de 2017, donde se establecen criterios técnicos para almacenar productos químicos peligrosos. Este documento establece seis criterios generales de incompatibilidad basadas características más amplias: inflamabilidad, explosividad, toxicidad, si son comburentes, nocivos / irritantes, y su corrosividad. A partir de estas características diseña una matriz de doble entrada indicando si se pueden almacenar juntos o no, o si se deben tomar algunas medidas adicionales. Igualmente, Cañon Rodríguez (2017) hace un ejercicio de compatibilidad con cinco productos químicos específicos, donde basado en su peligrosidad, define con cuales otros productos pueden ser compatibles o no. Esta es una indicación clara de manejo de productos químicos en bodega. El ejercicio se hizo bajo criterios de riesgo medioambiental, por lo que se no se tomaron otras variables importantes como es el riesgo a la salud. Vegosen y Martin (2020) hicieron un ejercicio de matriz de riesgo de doble entrada con 20 productos químicos evaluando las afectaciones para la salud, utilizando el modelo de predicción QSAR EPA's Toxicity Estimation Software. Esta metodología permite hacer relaciones entre variables para la toma de decisiones, en especial cuando la cantidad de información es amplia, o si se manejan productos considerados como peligrosos.

Vallejo et al. (2020), estudiando el manejo seguro de sustancias químicas en la industria de confección de calzado, constatan la importancia de estudiar la mezcla de sustancias químicas, y sus incompatibilidades, al definir como principales causantes de incidentes en este sector, la mezcla de sustancias, la alta exposición y la inadecuada disposición de los residuos.

Información de Organismos Gubernamentales y Multilaterales sobre Compatibilidad de Sustancias Químicas y su Metodología de Evaluación

Finalmente, es necesario señalar, que pese a la escasa información específica en metodologías de análisis de compatibilidad de sustancias químicas en el sector económico de interés, ubicada en las bases de datos científicas consultadas, con la metodología indicada, se pudo constatar que la temática objeto de estudio es de mención y uso regular en instituciones de regulación y estandarización gubernamental y multilateral, en materia de SST, tales como la Organización de Naciones Unidas (ONU), la Organización Internacional del Trabajo (OIT), el National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) de Estados Unidos, el Instituto Nacional de Salud y Seguridad en el Trabajo (INSST) de España, el Instituto Nacional de Salud de Colombia y las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), las cuales han definido estándares y normativas técnicas en temas de interés para el estudio, tales como sustancias químicas presentes en la industria, peligros asociados, afecciones a la salud y enfermedades producto de contacto con sustancias químicas en el trabajo, manejo de emergencias con sustancias químicas, así como metodologías de estudio de la compatibilidad entre sustancias químicas.

En ese sentido, es de especial mención, la base de datos y aplicación en línea, CAMEO, V. 3.0.0 (National Oceanic and Atmospheric Administration, s/f), la cual es una BD de peligros químicos de libre consulta para planificadores y personal de atención de emergencias para recomendar y predecir peligros derivados de incompatibilidad de sustancias químicas, generando una matriz de compatibilidad de doble entrada para pares de sustancias, por reactividad, inflamabilidad, explosividad, desprendimiento de vapores, humos y generación de calor.

A nivel de Latinoamérica es de mencionar la Norma Oficial Mexicana 54 (1993), que desde hace treinta años menciona los problemas de compatibilidad de sustancias químicas como elemento fundamental para su manejo en todos los sectores industriales y de servicios,

proponiendo un esquema de ciento siete (107) grupos reactivos, a partir de los cuales genera una tabla de incompatibilidad, con la cual se hacen intersecciones y si resulta en algunas de las reacciones contenidas en el código de reactividad, son definidas como sustancias incompatibles.

Metodologías de evaluación de compatibilidad de sustancias y productos químicos en el sector automotriz

En el sector automotriz, especialmente en el mantenimiento, el uso de sustancias químicas es permanente en actividades de lavado y engrase de motores, latonería y pintura, así como en reparaciones mecánicas en general. Tal como se puede observar en la Tabla 2, son corrientes en talleres mecánicos sustancias como aceites y lubricantes, fluidos de servicio, pegamentos y antiadhesivos, combustibles de vehículos (ACPM y gasolina), gases comprimidos para oxicorte, así como desechos considerados peligrosos, como gomas deterioradas, trapos y guantes de desecho con grasas y aceites usados.

Estas sustancias, como se indica en la misma Tabla 2, son tóxicas, inflamables, corrosivas, así como gases sometidos a presión. Basado en las compatibilidades entre peligrosidad de sustancias (Gómez, 2019 y García Fernández, 2023), expresadas en la Figura 2, como base conceptual, podemos verificar la compatibilidad de las sustancias más comunes en talleres automotrices con la construcción de las MCSQ, como metodología aplicable en el sector de interés.

Partiendo entonces de estas sustancias de uso común en talleres, sus condiciones físico químicas y sus peligros asociados, podemos estimar que las Matrices de Compatibilidad de Sustancias Químicas (MCSQ), es la metodología encontrada de más fácil uso en lugares de trabajo, para almacenamiento y manejo seguro, a fin de reducir accidentes e impactos ambientales (Paredes y Millán, 2019). Estas características comentadas, de las sustancias comunes en talleres

automotrices, poseen los criterios de peligrosidad que Henao (2015) y la Norma Oficial Mexicana (1993), definen para la construcción de MCSQ. Así mismo, su uso sencillo, visual, útil para el almacenamiento y de fácil comprensión para el personal (Fajardo, 2022), la define como la metodología a considerar para este sector de servicios.

Finalmente, se puede afirmar que el software en línea CAMEO Chemicals (National Oceanic and Atmospheric Administration, S/F), al ser un instrumento sencillo, accesible, con una base de datos de sustancias amplia que incluye las más comunes utilizadas en mantenimiento automotriz, representa un buen ejemplo de la versatilidad de un instrumento que utiliza esta metodología de matrices de contabilidad de doble entrada, a fin de gestionar un manejo seguro de sustancias químicas en el sector en estudio.

10. Conclusiones

Se caracterizaron las metodologías existentes para el estudio de compatibilidad de sustancias químicas, mediante la técnica de revisión bibliográfica, en las bases de datos científicas Sciencedirect, Springer Link, Sage Journals, Scopus y EPSCOHOST Fuente Académica, las cuales fueron seleccionadas considerando sus líneas técnicas en las áreas de la ingeniería, tecnología y la salud. Se definieron cuatro (4) ecuaciones de búsqueda, a partir de palabras clave como: almacenamiento seguro, industria mecánica, sustancias peligrosas, peligros en almacenamiento y mantenimiento tanto en inglés como en español. Como resultado de la búsqueda efectuada, se identificaron un total de 28.736 documentos relacionados con las palabras incluidas en las ecuaciones de búsqueda, de los cuales, solo dieciséis (16) documentos mostraron información relevante a los criterios de interés del presente estudio: Cuatro documentos en Sciencedirect, 05 documentos en Springer Link, 02 documentos en Sage Journals y 05 documentos en EPSCOHOST Fuente Académica. No se encontraron documentos relevantes en Scopus.

Posterior a la etapa de recopilación de información, fueron revisados a profundidad los dieciséis (16) documentos que exhibieron relación con el objetivo de investigación, a partir de la revisión detallada de los capítulos correspondientes a los objetivos, marco teórico y conclusiones, con el propósito de identificar la existencia de planteamientos técnicos para el análisis de la compatibilidad de sustancias químicas en el sector de mantenimiento automotriz, siendo posible concluir que se encontraron varios documentos donde se referenciaba temas de seguridad en el trabajo y manejo de sustancias y productos químicos en diferentes áreas productivas como laboratorios, patios de almacenamiento y sistemas de transporte, que dan relevancia al manejo

seguro y adecuado para prevenir accidentes con afectación al personal, las instalaciones y al ambiente. Sin embargo, fue muy limitada la información asociada al sector automotriz y almacenamiento adecuado de químicos bajo criterios de compatibilidad, el documento denominado “Productos químicos peligrosos y mercancías peligrosas, un dilema no siempre bien resuelto, de la autoría” del Dr. Ricardo Fernández García, se presentan lineamientos técnicos concretos para la construcción de metodologías de compatibilidad de sustancias químicas, y el documento “Gestión del riesgo ambiental en almacenamiento y comercialización de productos químicos”, de Dora María Cañón Rodríguez, quien igualmente desarrolla un ejercicio de compatibilidad química de un grupo específico de productos, evidencia el bajo nivel de desarrollo de investigación relacionado al manejo y almacenamiento adecuado de químicos en la industria en general y particularmente en el sector automotriz, a pesar de la gran oferta de productos químicos que existen en el mercado (más de 85.000) con diferentes niveles de peligrosidad, muchos de los cuales no se ha considerado su potencial de causar accidentes y daños a las personas por su inadecuado manejo. Esta situación puede deberse a una ausencia de seguimiento por parte de los entes de control del estado, para verificar un manejo adecuado de los químicos que se almacenan en bodegas, ya sea por desconocimiento o por ausencia de instrumentos legales que regulen la materia.

En el sector de interés, por las características de las sustancias y productos químicos de uso común, la metodología de Matrices de Compatibilidad de Sustancias Químicas, se evalúa como la pertinente. Esto se ve reforzado por su sencillez de construcción, su carácter didáctico y visual que facilita la gestión en el manejo y almacenamiento de sustancias químicas entre operadores y trabajadores de talleres de mantenimiento automotriz.

Finalmente, se pudo constatar la existencia de documentos, normatividad y herramientas como aplicaciones en línea, procedentes de instituciones gubernamentales de control, que aportan metodologías de estudio de compatibilidad de sustancias para su manejo seguro. Especial mención merecen las Normas Técnicas Mexicanas, como ejemplo de normatividad en la materia, y la aplicación CAMEO Chemicals, de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) de los Estados Unidos, como ejemplo de herramienta de gestión de peligros de sustancias químicas. Creemos que hace falta un mayor compromiso por parte de los diferentes actores (empresas, entes gubernamentales de control y partes interesadas) para que estos instrumentos y herramientas, se difundan y sirvan de herramienta para lograr un manejo más seguro de químicos en espacios de almacenamiento.

11. Recomendaciones

Como principal limitación para la ejecución de la presente monografía, es posible resaltar la falta de textos técnicos asociados específicamente a los lineamientos para la construcción de metodologías de compatibilidad química, que, aun siendo una temática con un campo de acción muy amplio para todas las áreas económicas y comerciales de la industria mundial, ha sido poco desarrollado, abriendo una gran puerta para la ejecución de proyectos de investigación.

Se recomienda incentivar el desarrollo de estudios e investigación, para el planteamiento de metodologías de fácil comprensión y manejo, orientadas a la evaluación de la compatibilidad de sustancias químicas, mejorando las condiciones de seguridad de las empresas que a diario manejan este tipo de insumos.

Es importante resaltar que la construcción de matrices de compatibilidad química, basadas en sus características de peligrosidad, deben diseñarse a partir de cada uno de los productos y sustancias que se almacenan, con el propósito de asegurar su pleno entendimiento por parte del personal que labora en los talleres y expresar la condición específica de cada centro de trabajo.

Finalmente, se recomienda a las empresas promover la capacitación de su personal en el adecuado manejo y almacenamiento de las sustancias químicas particularmente empleadas, orientada a evitar accidentes de tipo laboral.

12. Referencias Bibliográficas

Aliabadi, M. M., Ramezani, H., & Kalatpour, O. (2021). *Application of the bow-tie analysis technique in quantitative risk assessment of gas condensate storage considering domino effects*. International Journal Of Environmental Science And Technology, 19(6), 5373-5386. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03745-w>.

Bernal, C. (2006). *Metodología de la investigación. Para administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. (P. EDUCACIÓN, Ed.) Ciudad de México, México.

Cañon Rodríguez, D (2017). *Gestión del riesgo ambiental en almacenamiento y comercialización de productos químicos*. Producción + Limpia - Enero - Junio de 2017. Vol.12, No.1 - 24•32 - DOI: 10.22507/pml.v12n1a2.

Diario La República. (23 de Noviembre de 2023). Obtenido de <https://www.larepublica.co/empresas/el-sector-automotor-genera-25-000-empleos-directos-y-100-000-empleos-en-toda-su-cadena-3001646>

Domínguez, C. R., Guadian, J. E. R., Lona, J. G., & Mares, J. I. P. (2023). *Hazard identification for risk assessment using the PRA technique in the automotive industry*. Safety Science, 160, 106041. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.106041>.

Fajardo, D. (2022). *Construcción de matrices de compatibilidad química y capacitación del personal de la empresa INVESA S.A.* (U. d. Antioquia, Ed.) Medellín, Colombia.

Fernández García, R (2022) *Productos químicos peligrosos y mercancías peligrosas , un dilema no siempre resuelto*. DOSSIER. Radiografía de la seguridad y la salud en los transportes por carretera. Pag. 21. Gestión Práctica de Riesgos Laborales n° 211.

Fernández García, R. (2023). *Productos químicos peligrosos y mercancías peligrosas, un dilema no siempre bien resuelto*. Gestión Práctica de Riesgos Laborales, 211, 7–26.

Gopaldaswami, N., & Han, Z. (2020). *Analysis of laboratory incident database*. Journal Of Loss Prevention In The Process Industries, 64, 104027. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2019.104027>

Gómez, M. (2019). *Evaluación de los riesgos químicos en seguridad y salud en el trabajo*. (E. Alfaomega, Ed.) Bogotá, Colombia.

Henaó R, F. (2015). *Riesgos Químicos*. (E. Ediciones, Ed.) Bogotá, Colombia.

Instituto Nacional de Salud. (2018). *Informe del evento de intoxicaciones en Colombia en 2018*. Bogotá: INS.

He, H., Tian, S., Glaubenskleee, C., Tarroja, B., Samuelsen, S., Ogunseitan, O. A., & Schoenung, J. M. (2022). *Advancing chemical hazard assessment with decision analysis: A case study on lithium-ion and redox flow batteries used for energy storage*. Journal of Hazardous Materials, 437(129301), 129301. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129301>.

Housni, H., Bendahhou, K., Tahiri, M., & Jouti, N. T. (2022). *Evaluation of Chemical Risks Management During Handling Operations and Determination of Storage Conditions in Scientific Laboratories*. *Chemistry Africa*, 6(2), 1087-1101. <https://doi.org/10.1007/s42250-022-00530-1>

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2014). *Almacenamiento de productos químicos, orientación para la identificación de los requisitos de seguridad en el almacenamiento de productos químicos peligrosos*. Madrid, España.

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2023). *Buenas prácticas para el almacenamiento de productos químicos peligrosos*. (E. INSST, Ed.) Madrid, España.

James, A. T., Kumar, G., Pundhir, A., Tiwari, S., & Sharma, R. S. (2022). *Assessment of sustainable maintenance performance of automobile garages in India*. *International Journal Of Environmental Science And Technology*, 20(9), 9945-9962. <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04556-3>.

Kennedy, K., Vu, K., Coakley, N., Daley-Morris, J., Forbes, L., Hartzell, R., & Lessels, D. (2022b). *Safe handling of hazardous drugs*. *Journal Of Oncology Pharmacy Practice*, 29(2), 401-412. <https://doi.org/10.1177/10781552221135121>.

Liu, L., Gan, X., Wu, Q., & Sun, Z. (2024). *Route Optimization of Hazardous Material (Hazmat) Transportation with Risk Equity and Time-Varying Risk*. *Transportation Research Record*. <https://doi.org/10.1177/03611981231223186>.

Martín Santín, J., Guerra Valdés, B., & Hereira Diaz, A. (2023). *Comparación De Los Sistemas Para La Clasificación, Identificación Y Comunicación De Peligros Y Riesgos De Sustancias Peligrosas*. Centro Azúcar, 50(4), 1–11.

Ministerio de Salud y Protección Social. (7 de abril de 2021). *Resolución 773 por la cual se definen las acciones que deben desarrollar los empleadores para la aplicación del SGA de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos en los lugares de trabajo y se dictan otras disposiciones*. Bogotá, Colombia.

National Oceanic and Atmospheric Administration. *CAMEO Chemicals, Database of hazardous materials*, version 3.0.0. US Government, <https://cameochemicals.noaa.gov/>.

Norma Oficial Mexicana 54. (1993). *Procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados peligrosos*. Ciudad de México, México: NOM.

Organización de Naciones Unidas. (2015). *Sistema Globalmente Armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos* (Sexta Edición Revisada ed.). Nueva York, EEUU.

Organización Internacional del Trabajo. (2013). *La Seguridad y la Salud en el uso de productos químicos en el trabajo*. Primera edición. Centro Internacional de Formación de la OIT. Turín, Italia.

Organización Internacional del Trabajo. (2021). *OIT/OMS: Casi 2 millones de personas mueren cada año por causas relacionadas con el trabajo*. https://www.ilo.org/global/about-the-ilo/newsroom/news/WCMS_819802/lang--es/index.htm.

Ostad-Ali-Askari, K (2022). *Management of risks substances and sustainable development*. Applied Water Science, Volume 12, article number 65, (2022).

Paredes, J., & Millán, J. (2019). *Riesgos químicos. Condiciones de salud por exposición a sustancias químicas*. (E. d. U, Ed.) Bogotá, Colombia.

Presidencia de la República de Colombia. (6 de agosto de 2018). Decreto 1496 por el cual se adopta el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos y se dictan otras disposiciones en materia de seguridad química. Bogotá, Colombia.

Vallejo Morán, L. A., Dominguez Orejuela, J., López Villalobos, I. D., & Castañeda Sanchez, C. A. (2020). *Procedimiento Guía Para Manejo Seguro De Sustancias Químicas en Una Empresa De Fabricación De Suelas Y Plantillas a Base De Poliuretano De La Ciudad De Cali - Colombia*. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 11(2), 157–177.
<https://doiorg.ezproxy.uniminuto.edu/10.22490/21456453.3461>

Viña-Rodríguez, J., Camejo Giniebra, J. J., & Castañeda Valdés, A. (2021). *Métodos de estudio más utilizados para el análisis de riesgos de procesos con sustancias peligrosas*. Revista CENIC Ciencias Químicas, 52(2), 138–160.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2221-24422021000200138

Vegosen L, Martin, TM (2020). *An automated framework for compiling and integrating chemical hazard data*. Clean Technologies and Environmental Policy, Volume 22, pages 441–458, (2020)

Zarei, E., Gholamizadeh, K., Khan, F., & Khakzad, N. (2022). *A dynamic domino effect risk analysis model for rail transport of hazardous material*. Journal Of Loss Prevention In The Process Industries, 74, 104666. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2021.104666>