

Evaluación de la exposición laboral a compuestos orgánicos volátiles (COV). Caso de estudio en una empresa química

Occupational exposure assessment to volatile organic compounds (VOC). A case study in a chemical company

Josué A. Villalobos-Morales¹, Jose Carlos Mora-Barrantes², José Pablo Sibaja-Brenes³, Germán Zárate-Montero⁴, Rosa Alfaro-Solís⁵, Henry Borbón-Alpizar⁶, Alexa Retana-Díaz⁷

Fecha de recepción: 10 de agosto, 2023
Fecha de aprobación: 11 de diciembre, 2023

Villalobos-Morales, J.A; Mora-Barrantes, J.C; Sibaja-Brenes, J.P; Zárate-Montero, G; Alfaro-Solís, R; Borbón-Alpizar, H; Retana-Díaz, A. Evaluación de la exposición laboral a compuestos orgánicos volátiles (COV). Caso de estudio en una empresa química . *Tecnología en Marcha*. Vol. 37, Nº 3. Julio-Setiembre, 2024. Pág. 141-155.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v37i2.6837>

- 1 Laboratorio de Química de la Atmósfera, Escuela de Química, Universidad Nacional (LATAQ-UNA). Costa Rica.
- 2 Laboratorio de Química de la Atmósfera, Escuela de Química, Universidad Nacional (LATAQ-UNA). Costa Rica.
- 3 Laboratorio de Química de la Atmósfera, Escuela de Química, Universidad Nacional (LATAQ-UNA). Costa Rica.
 jose.sibaja.brenes@una.ac.cr
- 4 Laboratorio de Química Orgánica SIUA, Escuela de Química, Universidad Nacional. Costa Rica.
- 5 Laboratorio de Química Orgánica SIUA, Escuela de Química, Universidad Nacional. Costa Rica.
- 6 Laboratorio de Química Orgánica SIUA, Escuela de Química, Universidad Nacional. Costa Rica.
 henry.borbon.alpizar@una.ac.cr
- 7 Laboratorio de Química de la Atmósfera, Escuela de Química, Universidad Nacional (LATAQ-UNA). Costa Rica.

Palabras claves

Exposición laboral; compuestos orgánicos volátiles (VOC); cromatografía de gases-detector ionización (GC-FID); riesgo químico.

Resumen

El sitio de estudio es una empresa dedicada a la fabricación y la comercialización de productos para pinturas y productos cosméticos. Se determinó la exposición laboral mediante la cuantificación de las concentraciones ambientales y análisis de factores de riesgo laboral, mediante la aplicación de la metodología del Instituto Nacional de Investigación de Seguridad de Francia (INRS) denominada “Riesgo químico: sistemática para la evaluación higiénica”. La metodología implementa un análisis global de las condiciones de uso y almacenamiento de los productos químicos por medio de listas de chequeo y encuestas, tomando en cuenta factores como: proceso productivo, condiciones de infraestructura, además de la determinación y la cuantificación de contaminantes atmosféricos internos mediante la técnica de cromatografía de gases (GC). Se detectaron y cuantificaron 22 contaminantes atmosféricos mediante GC; el isocianato de *N*-butilo sobrepasó los valores límites ambientales de exposición diaria (VLA-ED) del Instituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el Trabajo (INSSBT) de España. Este contaminante se asocia con afectaciones a la salud tales como: padecimientos de síntomas de alergia o asma. La determinación de la exposición laboral a disolventes orgánicos volátiles en el proceso productivo demostró niveles de riesgo químico muy elevados en 4 compuestos analizados, lo que implica modificar las condiciones de trabajo con el fin de prevenir afectaciones a la salud de los trabajadores. Finalmente, se incluyó un plan con medidas correctivas para el adecuado uso y almacenamiento de sustancias químicas.

Keywords

Occupational exposure; volatile organic compounds (VOCs); gas chromatography-ionization detector (GC-FID); chemical risk.

Abstract

The present investigation project was developed in a chemical company which develops, manufactures and trade resins for paints and cosmetic products. The occupational exposure of workers assessment (OEWA) to volatile organic compounds (VOC) was determined by using a methodology named “Chemical risk: systematic for hygienic evaluation”, develop by the French National Institute for Security Research (INRS). The assessment analysed general aspects such VOC environmental concentrations and the evaluation of occupational risk factors chemical products handling and their storage conditions. To gather the necessary data, *in situ* instrumental tools as site inspections, checklists, and surveys, among others were used. The global evaluation chemical risk assessment also included the following: production process analysis, infrastructure conditions inspection and quantification of internal atmospheric pollutants through the gas chromatography technique (GC). Related with the experimental VOC determination, a total of 22 chemical pollutants were quantified (GC Technique). The N-Butyl was the only compound that exceeded the Threshold Limit Value (TLA) recommended by the Spain National Institute for Safety and Health (INSSBT). The N-butyl is related to health effects such skin allergies and asthma. The results gathered from the OEWA to VOC shows high chemical risk level for 4 chemical compounds. These results indicate the need to prevent worker health

effects by modification of some labour conditions. As part of the research and to correct and to prevent future chemical risks an action plan was developed, especially focused on the handling, exposure, and use of chemical volatile organic compounds.

Introducción

Los compuestos orgánicos volátiles (COV) son un parámetro para la determinación de la calidad del aire en interiores y exteriores, debido a que participan en reacciones atmosféricas como la formación de smog fotoquímico. Las emisiones de los COV permanecen en la atmósfera, generando un aumento de la capacidad de oxidación de esta, produciendo afectaciones negativas a la salud humana [1], [2]. Además de los efectos en el ambiente, los COV también generan impactos directos negativos sobre la fisiología humana debido a su toxicidad. Se han realizado estudios que comprueban que la exposición directa a los COV puede provocar efectos crónicos o agudos en los sistemas; respiratorio, hematopoyético y nervioso central, además de otros efectos como irritación sensorial, alergias y asma [3]. Los efectos sobre la salud de las personas de los COV pueden ser crónicos y agudos, dependiendo del nivel de toxicidad de la sustancia y del tiempo de exposición. Los efectos tóxicos con toxicidad aguda son: la irritación y la corrosión sobre la piel y ojos [4], [5]. En cuanto a los efectos crónicos se pueden mencionar: neurotoxicidad, genotoxicidad, carcinogenicidad y efectos reproductivos [4].

Otros parámetros utilizados para definir la toxicidad de los compuestos químicos y principalmente para evaluar los efectos de la exposición a los productos químicos en ambientes laborales internos, son los valores límites ambientales (VLA), los cuales son valores de referencia para las concentraciones de los agentes químicos presentes en el aire, y representan las condiciones laborales de la mayoría de los trabajadores, a factores de exposición día tras día, durante toda su vida laboral, sin sufrir efectos adversos para su salud [6]. Paralelo al conocimiento de los valores límites ambientales y de los niveles de exposición laboral de los trabajadores a determinadas sustancias químicas, la gestión del riesgo químico y su evaluación implica el uso de metodologías para la evaluación de la exposición a sustancias químicas [7].

Algunas metodologías se basan en la medición de variables que permiten cuantificar la magnitud del contaminante en el ambiente laboral y el grado de incidencia en los trabajadores. Generalmente, solo se cuantifica la exposición por vía inhalatoria y el resultado de la evaluación es comparado con los valores límites ambientales (VLA), según la duración de exposición del trabajador a la sustancia química [7] - [10]. Debido a la diversidad de actividades donde se utilizan sustancias químicas es necesaria la aplicación de una metodología para la evaluación del riesgo que sea inherente con las condiciones específicas de almacenamiento, uso y exposición a sustancias químicas. Se requiere, por lo tanto, una metodología que contemple la cantidad manipulada de sustancia peligrosa, las condiciones de ventilación del laboratorio, la presencia de capillas de extracción de gases, las condiciones de almacenamiento, el grado de protección respiratoria y la protección dérmica de los trabajadores, entre otros factores de riesgo [9], [11].

Actualmente se destacan dos metodologías para la evaluación de riesgo químico, la del modelo británico COSHH Essentials, desarrollado por el Ejecutivo de Salud y Seguridad (HSE, por sus siglas en inglés) y el modelo francés del Instituto Nacional de Investigación en Seguridad (INRS, por sus siglas en inglés). El modelo británico proporciona un diagnóstico inicial del nivel de riesgo, comprende la etapa de estimación del riesgo (potencial) y utiliza un procedimiento para determinar las medidas de control adecuadas a la operación que se está evaluando [12], [13]. El método del INRS es el mayormente aplicado, debido a que realiza una estimación más

ajustada a la realidad del ambiente laboral objeto de estudio, considerando una mayor cantidad de variables. Este método es adaptado y utilizado por el Instituto de Higiene en el trabajo de España para la evaluación de riesgos laborales (INSHT) [14].

Existen diferentes estudios, tanto a nivel nacional e internacional respecto al riesgo químico producto de la exposición laboral a sustancias químicas y sus efectos en la salud de los trabajadores [15] - [19]. El Departamento de Ingeniería de Salud Ocupacional de la Universidad de Ciencias Médicas, evaluaron la exposición ocupacional de trabajadores a disolventes orgánicos mixtos, en una industria automotriz en Irán. Se realizaron diferentes evaluaciones del ambiente laboral de los trabajadores con contacto directo a los disolventes. Los resultados indicaron concentraciones superiores a los límites de exposición recomendados por el NIOSH. La exposición de los trabajadores a estas concentraciones se puede relacionar con cambios neuroconductuales en los dominios de memoria y de reacción de estos [15].

Por su parte expertos en el campo de la salud ocupacional como Yuichi Miyake, Masahiro Tokumura y Takashi Amagai, han liderado proyectos de investigación en Japón, con relación a la concentración de disolventes orgánicos volátiles en ambientes laborales en fábricas de automóviles. Estos investigadores evaluaron la concentración ambiental-laboral de compuestos como tolueno, acetona, ciclohexanona y acetato de etilo. Una elevada concentración de tolueno por encima de los límites permisibles en la zona de trabajo fueron los resultados más relevantes, la cual se puede asociar a un alto riesgo de padecer hipertensión cuando se sobrepasan los límites permisibles recomendados por la Asociación Japonesa de Seguridad y Salud Industrial (JISHA) [16].

En Costa Rica también se ha realizado estudios sobre exposición laboral y efectos sobre la salud de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) en ambientes externos de trabajo. En el 2013 se realizó una propuesta por parte del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) para el tratamiento de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles en una planta de refinería de Petróleo [18]. Para el 2007, se realizó un inventario de compuestos tóxicos peligrosos en el aire de la Gran Área Metropolitana (GAM), estimándose que las emisiones de compuestos tóxicos como tolueno, metano, xileno, formaldehído y benceno son de 6,974 ton/año, representando el 80 % de las emisiones antropogénicas [19]. Estas investigaciones han utilizado procedimientos analíticos para la determinación de los COV basados principalmente en el método de cromatografía de gases (GC), el cual permite una fácil y rápida identificación y cuantificación de los compuestos presentes en el ambiente laboral [20].

No obstante, es importante indicar que la evaluación a la exposición de disolventes orgánicos no se debe fundamentar solamente en la medición de su concentración ambiental en el medio laboral y su posterior comparación con los límites ambientales permitidos. Según diferentes organismos y normativas, se hace además necesario un análisis del proceso productivo, del diseño de la infraestructura, de las condiciones de uso y del almacenamiento de los productos químicos, así como la disponibilidad de los materiales y equipos de seguridad, entre otros factores de riesgo [21], [22].

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la exposición laboral a compuestos orgánicos volátiles de trabajadores de un proceso productivo de fabricación de plaguicidas y otros productos químicos de uso agropecuario, mediante la cuantificación de las concentraciones ambientales y el análisis de factores de riesgo laboral para la definición del nivel de afectación en la salud de los trabajadores.

Materiales y métodos

Análisis de las condiciones de uso y almacenamiento de productos químicos

Durante el 2022, se estudió el proceso productivo de la empresa con el fin de identificar los principales peligros y riesgos químicos presentes en el ambiente interno. Se recopiló la información mediante visitas de campo y entrevistas, generando un inventario de las propiedades físicas, químicas y toxicológicas de los productos químicos almacenados y utilizados en la empresa. La lista de chequeo y/o entrevista realizada y aplicada, así como las visitas de campo se llevaron a cabo bajo el análisis de aspectos y criterios indicados en instrumentos de organizaciones como INSHT, OSHA, EPA, NIOSH. Los instrumentos de campo evaluaron situaciones del sitio de estudio como: (1) las condiciones, medidas y equipos de seguridad y protección personal utilizados durante el uso y el almacenamiento de los productos químicos; (2) las condiciones infraestructurales de la empresa en términos de seguridad industrial y salud ocupacional; (3) los procesos de formación y capacitación de trabajadores en temas relacionados con exposición a sustancias químicas; (4) la gestión administrativa y operativa de productos químicos por parte de la gerencia de la empresa.

Los instrumentos para la evaluación de campo se validaron mediante un grupo focal conformado por tres profesionales relacionados con el tema de exposición laboral a sustancias químicas. Las entrevistas sobre condiciones y uso de sustancias químicas se aplicaron a los funcionarios relacionados directa e indirectamente con la gestión de productos químicos. Los funcionarios y los sitios evaluados se definieron según los principales factores de riesgos identificados en la empresa.

Cuantificación de la concentración ambiental de los compuestos orgánicos volátiles

Se definieron tres puntos de muestreo para cuantificar la concentración de compuestos orgánicos volátiles. Los puntos de muestreo se identificaron una vez realizado el análisis completo del proceso productivo y de los principales factores de riesgo, así como las principales fuentes de generación de compuestos orgánicos volátiles. Se definieron 2 puntos en el área administrativa y dos zonas de muestreo en el área de formulaciones químicas de productos comerciales, así como 3 puntos en el área de almacenamiento de los productos químicos.

En cada punto de muestreo se realizó la cuantificación de compuestos orgánicos volátiles durante 4 días laborales diferentes (Jornada laboral de 8 horas). Para esto se utilizó un automuestreador de campo CHEM-ID. Mediante este equipo se detectó y cuantificó *in situ* la concentración de COV por medio la técnica de cromatografía de gases: el equipo se estabilizó durante 15 minutos antes de iniciar el proceso de muestreo, luego se realizó la recolección de la muestra que fue almacenada en un preconcentrador. En este punto el equipo se calentó a una temperatura inicial de 40 °C y gradualmente alcanzó los 150 °C, temperatura a la cual los compuestos orgánicos volátiles se detectaron.

Nivel de riesgo químico producto de la exposición a los compuestos orgánicos volátiles

La evaluación del nivel del riesgo químico vía inhalación se realizó mediante el método de la INRS descrito en la Guía del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España (INSHT) [14]. Se evaluaron aspectos relacionados con las sustancias químicas y condiciones del sitio de estudio como: la clase de peligro según frases de seguridad de las sustancias en sus hojas MSDS, cantidad de sustancia química utilizada, la frecuencia de exposición a la sustancia química, la exposición potencial, la volatilidad, el procedimiento de uso, la protección colectiva y los valores límites ambientales.

Resultados y discusión

Condiciones de uso y almacenamiento de productos químicos

El proceso productivo del sitio de estudio comprende las etapas de: recepción y almacenamiento de compuestos químicos, formulación, empaquetado y almacenamiento de producto terminado. En promedio se reciben mensualmente 2000 kg de productos químicos, en la bodega principal se almacenan un total de 30200 kg. Entre la principal materia prima almacenada se encuentran el lauril sulfato de sodio (8330 kg, 27,51 %), tolueno (960 kg, 3,17 %), acetato de etilo (180 kg, 0,59 %) y policuart CC7 (200 kg, 0,66 %). Durante la etapa de formulación se realiza el proceso de mezclado de la materia prima para la elaboración de los productos a comercializar. En la siguiente etapa (empaquetado), se envasa el producto terminado en presentaciones comerciales de 1,0 L y 3,785 L, y se identifican con sus respectivas etiquetas para su distribución.

La etapa final es el almacenamiento de producto en la bodega de transición para su respectiva comercialización; su periodo de almacenaje es menor a 15 días.

La figura 1 muestra la percepción de los operarios y los administrativos con respecto a las condiciones básicas de uso, almacenamiento y seguridad en el manejo de productos químicos. Un 66,6 % de los trabajadores desconoce la forma correcta de interpretar la información presente en las etiquetas en relación con la identificación de peligros a la salud, reactividad e inflamabilidad propia de cada sustancia química.

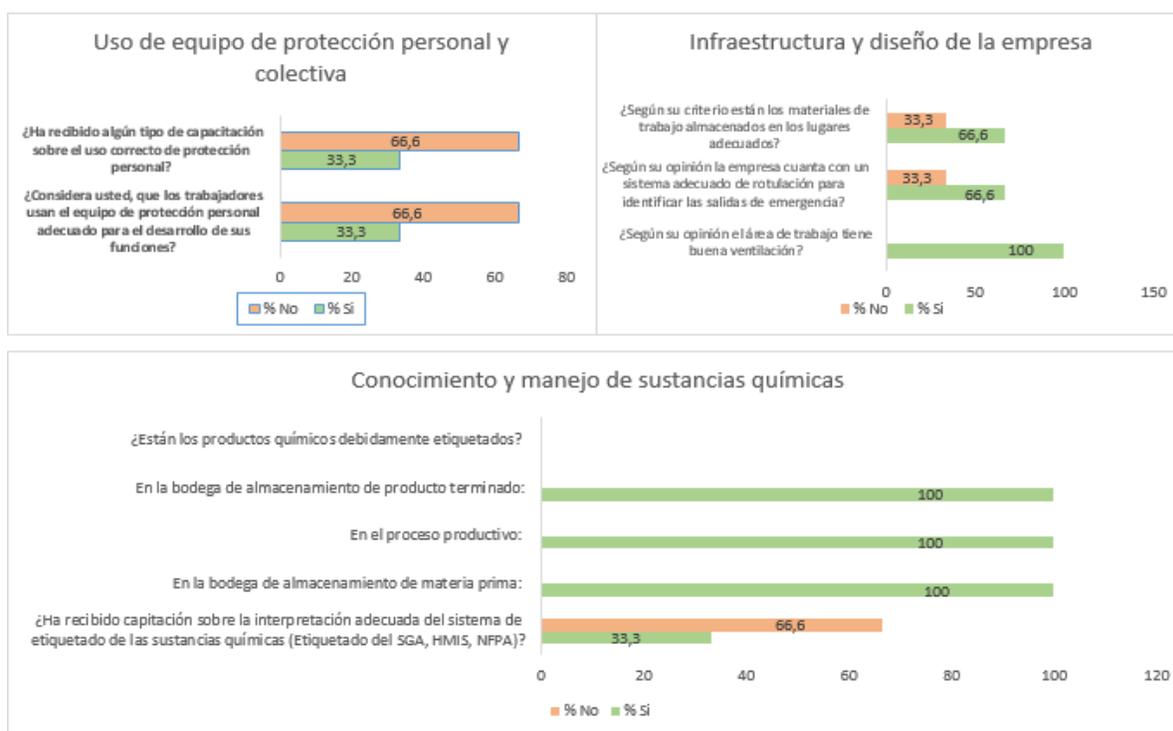


Figura 1. Percepción de los trabajadores sobre las condiciones básicas de uso, almacenamiento y seguridad en el manejo de productos químicos.

Con respecto al almacenamiento de la materia prima un 33,6 % (figura 1) de los trabajadores consideran que el almacenamiento no se realiza de forma correcta. Este criterio se fundamenta en la existencia actual de obstáculos físicos ubicados en las salidas de emergencia en las diferentes áreas de la empresa y del potencial riesgo de caída de los productos almacenados en los estantes utilizados.

En el cuadro 1 se presentan los aspectos negativos y positivos más relevantes, obtenidos mediante la aplicación de la lista de chequeo al sitio de estudio. El documento original de evaluación valoró un total de 240 aspectos, de los cuales un 48,33 % (116 aspectos) fueron respuestas positivas por parte de los entrevistados. Se considera positiva la gestión administrativa y operativa de la empresa en aspectos relacionados con: la ventilación de los sitios de almacenamiento de productos químicos, el uso de MSDS y la disposición de salidas de emergencia. Por su parte un total de 71 aspectos (29,58 %) se consideran como situaciones negativas o aspectos para los cuales se debe mejorar la gestión actual de los mismos, entre estos se indican: la elaboración y puesta en acción de planes de emergencia, de seguridad, de contingencia y la capacitación; la inversión en capillas de extracción de gases y el mejoramiento en áreas para disposición de residuos.

Cuadro 1. Gestión de productos químicos (aspectos negativos y positivos).

Ítem	Aspectos positivos	Si	No
32	El área de almacenamiento está correctamente ventilada, sea por ventilación natural o forzada	x	
53	Los líquidos volátiles se mantienen alejados de las fuentes de calor, luz e interruptores eléctricos	x	
55	Existen fichas de datos de seguridad (FDSs) o MSDS impresas para cada reactivo utilizado en el laboratorio.	x	
98	El laboratorio tiene al menos 2 salidas	x	
39	Se evita trasvasar productos químicos por vertido libre	x	
168	Hay presencia de luz natural	x	
193	En el área de trabajo hay drenajes (en caso de derrames)	x	
	Aspectos negativos	Si	No
47	Se lee siempre la información sobre manipulación y almacenamiento de productos nuevos o no habituales antes de proceder a su manipulación		
95	Se dispone de una alarma para evacuar el laboratorio		X
117	Existen planes específicos de seguridad disponibles en el laboratorio		X
121	Se exige formación y/o capacitación en temas de seguridad química para el personal nuevo o que labora en el laboratorio		X
127	Existen instrucciones escritas para la atención de cualquier tipo de derrame o fuga de productos químicos.		X
132	Se dispone y se controla el uso eficaz de los equipos de protección individual (EPI) necesarios en las distintas tareas con riesgos de exposición o contacto con productos químicos		X
142	Se dispone de al menos una capilla de extracción de gases		X
208	Existe un área de residuos designada para los residuos químicos o biológicos		X

Con respecto a las propiedades de los productos químicos del sitio de estudio se almacenan y utilizan un total de 32 sustancias químicas que generan compuestos orgánicos volátiles (VOCs), los cuales presentan diferentes propiedades físico-químicas y toxicológicas. En total se almacenan y manipulan 30280 kg de productos químicos, entre los productos mayormente empleados están el lauril sulfato de sodio (8830 kg, 27,51 %), lauril sulfato de amonio (1620 kg, 5,35 %) y formox L-75 (900 kg, 2,97 %).

Los principales peligros y riesgos químicos de las sustancias químicas presentes en el sitio corresponden a: que son compuestos mortales en caso de inhalación (Frase H330), provocan lesiones oculares graves (Frase H318) y provocan irritación cutánea (Frase H319). Un total

de 7 compuestos (21,88 %) presentan el riesgo de generar afectaciones de tipo inhalatoria, entre estas sustancias están el locanit S, formaldehído al 35 % y poliuar CC7. Un 18,75 % (6 compuestos) presentan el riesgo de generar afectaciones a la salud de tipo ocular y cutánea, entre estas sustancias están el spreitan E 154, floranit 4028 y quartamin 60.

Con respecto a los datos toxicológicos, los valores límites ambientales teóricos, para las sustancias oscilan en un rango de 0,001 ppm a 1000 ppm. Los valores VLA_{teo} de los productos químicos mayormente utilizados son 200 ppm, 20 ppm y 50 ppm, que corresponden respectivamente al alcohol isopropílico, etilenglicol monobutil éter y tolueno. Estos productos se utilizan en la elaboración de shampoo y de resinas para pinturas. Indicar, que un 47 % de los compuestos analizados no contienen información sobre VLA teóricos. Esto hace necesario una medición "*in situ*" de la exposición laboral de los trabajadores que permita diagnosticar posibles efectos en la salud de las personas producto de la materia prima utilizada.

Nivel de riesgo de inhalación de productos químicos

En el Cuadro 2 se muestra el valor del nivel de riesgo químico por inhalación (P_{inh}) para algunas (22 de 32) de las sustancias químicas del sitio de estudio, así como los valores obtenidos para cada variable evaluada. De acuerdo con los datos del cuadro, los productos con menores valores de P_{inh} son: eutanol G (50), hipoclorito de sodio (50), acetato de butilo (5), alcohol isopropílico (5), etilenglicol monobutil éter (5), foryl 100 (0,5) y foryl NE (0,5). Los bajos valores obtenidos en las diferentes variables evaluadas justifican los menores niveles de riesgo de inhalación. El alcohol isopropílico y el acetato de butilo, presentan valores de cantidad almacenada de 2, que obedecen a volúmenes de almacenamiento de 204,06 L y 203,56 L. Por el foryl 100 y foryl NE se almacenan en cantidades de 320 kg y 160 kg (valor de 2 para la clase de cantidad almacenada).

Por su parte, los productos químicos (cuadro 2) que presentan los mayores valores de P_{inh} son: cocoamidopropyl betaine (50000), poliuar CC7 (50000), quartamin 60 (50000), locanit 60 (5000) y floranit 4028 (5000). Las puntuaciones más altas son congruentes con los elevados valores individuales obtenidos en las diferentes variables evaluadas. Para el caso de productos como cocoamidopropyl betaine y floranit 4028 los valores para la variable de cantidad almacenada son 5 y 3 respectivamente, que obedecen a sus altos volúmenes de almacenamiento (2962,96 L y 960,00 L respectivamente). Productos como el policuart CC7 y locanit S presentan valores de 5 para la clase de peligro, presentando estos productos afectaciones en la salud como: ser mortales si se inhalan y que pueden provocar cáncer según su vía de exposición. La frecuencia de uso y exposición diaria de los trabajadores a estos productos es alta, presentando valores en la clase de frecuencia de 3 para productos como quartamin 60 y cocoamidopropyl betaine.

Una variable significativa en los altos valores del nivel de riesgo químico por inhalación (P_{inh}) es la volatilidad (cuadro 2). El floranit 4028 y el quartamin 60 poseen puntos de ebullición de 100 °C a una presión de vapor de 1 atm, lo que implica un valor 10 en la variable volatilidad. Productos como locanit S y el poliuar CC7 presentan VLA de 0,0001 ppm, valor de 100 en volatilidad.

Cuadro 2. Determinación del nivel de riesgo químico por inhalación de los productos químicos.

Nombre comercial		Cantidad almacenada	Clase de peligro	Frecuencia	Clase de exposición potencial	Clase de riesgo potencial	Riesgo Potencial	Clase de Volatilidad	Procedimiento de uso	Protección colectiva	VLA ¹	P _{inh} ²
1	Cocoamidopropyl betaine	5	2	3	5	3	100	10	0,5	1	100	50000
2	Poliquar CC7	2	5	3	2	3	100	10	0,5	1	100	50000
3	Quartamin 60	2	4	3	2	3	100	10	0,5	1	100	50000
4	Locanit S	2	5	3	2	3	100	1	0,5	1	100	5000
5	Floranit 4028	3	4	3	3	4	1000	10	0,5	1	1	5000
6	Kaosoft	4	2	1	3	2	10	100	0,5	1	1	500
7	Cetiol CC	2	1	3	2	1	1	10	0,5	1	100	500
8	Sulfato de n-dodecilo de sodio	5	3	3	5	4	1000	1	0,5	1	1	500
9	Spreitan E 154	2	4	3	2	3	100	10	0,5	1	1	500
10	Salicilato de metilo	5	1	2	5	2	10	1	0,5	1	100	500
11	Calfix	3	2	3	3	2	10	1	0,5	1	100	500
12	Lauril sulfato de amonio	4	2	2	4	2	10	1	0,5	1	100	500
13	Formaldehido al 35 %	2	5	1	2	3	100	10	0,5	1	1	500
14	Tolueno	3	3	3	3	3	100	10	0,5	1	1	500
15	Acetato de etilo	2	2	1	2	1	1	100	0,5	1	1	50
16	Acetona	2	2	1	2	1	1	100	0,5	1	1	50
17	Propilenglicol	3	1	3	3	1	1	1	0,5	1	100	50
18	Cetiol OE	3	1	2	3	1	1	1	0,5	1	100	50
19	Cetiol HE	2	1	3	2	1	1	1	0,5	1	100	50
20	Xiameter 1411	2	1	3	2	1	1	1	0,5	1	100	50
21	Foryl NEC	3	1	2	3	1	1	1	0,5	1	100	50
22	Cetiol V	3	1	2	3	1	1	1	0,5	1	100	50

Notas: VLA¹: Valor Limite Ambiental; P_{inh}²: Puntuación del riesgo por inhalación

Priorización del riesgo por inhalación

En el cuadro 3 se caracteriza el riesgo de acuerdo con el nivel de riesgo químico por inhalación obtenido para los productos químicos utilizados. Del total de 32 (no se muestran todos en el cuadro 3) productos químicos analizados el 15 % presentan un nivel de riesgo muy elevado (prioridad de acción 1); entre estos productos están cocoamidopropyl betaine (50000), quartamin 60 (50000) y locanit S (5000). Esta caracterización del nivel de riesgo implica la ejecución de medidas correctoras inmediatas por parte de la administración. Entre las medidas recomendadas se indican: realización de capacitaciones sobre el correcto uso de equipo de protección personal (EPP), implementación de sistemas de extracción dentro del área de formulaciones, vertido correcto de sustancias químicas y elaboración de un plan de gestión para los residuos químicos generados.

Cuadro 3. Caracterización del nivel de riesgo químico por inhalación de las sustancias químicas utilizadas en el sitio de estudio.

Nombre comercial		Valor	Prioridad de acción	Rango	Caracterización del riesgo
1	Cocoamidopropyl betaine	50000	1	> 1000	Riesgo muy elevado (medidas correctoras inmediatas).
2	Poliquar CC7	50000			
3	Quartamin 60	50000			
4	Locanit S	5000			
5	Floranit 4028	5000			
6	Kaosoft	500	2	> 100 a ≤ 1000	Riesgo moderado. Necesita probablemente medidas correctoras y/o una evaluación más detallada (mediciones).
7	Cetiol CC	500			
8	Sulfato de n-dodecilo de sodio	500			
9	Spreitan E 154	500			
10	Salicilato de metilo	500			
11	Calfix	500			
12	Lauril sulfato de amonio	500			
13	Formaldehido al 35 %	500			
14	Tolueno	500	3	≤ 100	Riesgo bajo (sin necesidad de modificaciones).
15	Acetato de etilo	50			
16	Acetona	50			
17	Propilenglicol	50			
18	Cetiol OE	50			
19	Cetiol HE	50			
24	Lamesolf	50			
25	Tetranyl AT7590	50			
26	Eutanol G	50			

De acuerdo al cuadro anterior, un 28 % de los productos químicos se catalogan con un valor de nivel de riesgo moderado (prioridad de acción 2), que incluye productos como: cetiol CC (500), calfix (500), tolueno (500) y spreitan E 154 (500). Con el fin de mejorar la gestión actual del riesgo químico durante el uso de estos productos químicos se recomienda la ejecución

de acciones puntuales como: elaboración de proyecciones trimestrales para la compra de productos y evitar la permanencia de estos productos químicos en el área de formulaciones que no se estén empleando en el proceso productivo.

Finalmente, un 59 % (cuadro 3) se identifican con un nivel de riesgo bajo (prioridad de acción 3), entre estos; lamesolf (50), eutanol G (50), alcohol isopropílico (50) y foryl NE (0,5). Con el fin de mantener la adecuada gestión actual en temas de exposición a los peligros químicos asociados a estos productos, se recomienda monitorear periódicamente parámetros fisicoquímicos y toxicológicos como la cantidad almacenada, la temperatura de trabajo, el tipo de protección colectiva y los valores límites ambientales, esto con el fin de mantener su bajo nivel de riesgo químico por inhalación.

Compuestos orgánicos volátiles presentes en el ambiente laboral

El cuadro 4 muestra los 22 COV_s detectados y cuantificados durante las campañas de muestreo. En el área de recepción se detectaron 10 COV_s (45,45 %), un total de 17 COV_s (77,27 %) en el área de formulaciones y una cantidad de 16 COV_s (72,72 %) en la bodega principal de productos químicos. La importancia de la cuantificación de los COVs radica principalmente a su relación directa con la generación de malos olores, efectos en la salud y en la calidad de aire interior [3].

Los COV con los menores valores de VLA experimentales corresponde a la alilamina (0,0187 ppm), la epiclorhidrina (0,0439 ppm) y el tetracloruro de carbono (0,0386 ppm), detectados en el área de formulaciones. El tetracloruro de carbono también se detectó en la bodega principal y área de recepción. Para estos compuestos los VLA teóricos corresponden a 1,00 ppm (alilamina), 6,7 ppm (epiclorhidrina) y 1,2 ppm (tetracloruro de carbono). Estas sustancias químicas presentan menores valores de exposición diaria con respecto a los VLA teóricos, lo cual permite descartar las posibles afectaciones a la salud a corto y largo plazo, brindando un ambiente laboral seguro con respecto a la calidad de aire interno.

Los valores más altos de VLA experimental obtenidos corresponden al tolueno (5,1693 ppm), el cloroformo (1,1394 ppm) y el acetato de isobutilo (0,6092 ppm), detectados en el área de recepción, la bodega principal y área de formulaciones respectivamente. Entre sus principales efectos a la salud están la afectación a órganos diana como consecuencia de exposiciones prolongadas, la provocación de somnolencia o vértigo, siendo además catalogadas como cancerígenas. Para estos compuestos los VLA teóricos corresponden a: 50 ppm (tolueno), 2 ppm (cloroformo) y 200 ppm (acetato de isobutilo). En el caso del tolueno sus altos valores de VLA experimentales se asocian a su frecuencia de uso semanal en procesos productivos como la fabricación de resinas para pinturas, en el cual se utilizan sistemas de mezclado abierto. Este tipo de sistemas permite una mayor facilidad para la presencia de los COV_s en el ambiente laboral interno, debido a que no existe una barrera física que impida el paso de los compuestos del sistema de mezclado hacia el aire y sus alrededores.

Cuadro 4. Compuestos orgánicos volátiles presentes en el ambiente laboral.

Compuesto detectado		Número CAS	Punto de muestreo	VLA experimental ppm	VIA teórico ppm	Producto físicamente en el sitio de estudio Si/No
1	Tetracloruro de carbon	56-23-5	Área de recepción (2), Área de formulaciones (3), Bodega principal (2)	0,5346	1	No
2	Acrilato de etilo	140-88-5	Área de recepción (1), Área de formulaciones (1), Bodega principal (0)	0,1148	5	No
3	isocianato de <i>N</i> -butyl	111-36-4	Área de recepción (2), Área de formulaciones (1), Bodega principal (2)	0,1998	0,0026	No
4	Acetato de isobutilo	110-19-0	Área de recepción (2), Área de formulaciones (0), Bodega principal (2)	0,6092	50	No
5	Tolueno	108-88-3	Área de recepción (4), Área de formulaciones (4), Bodega principal (3)	5,1693	50	Si
6	Tetracloruro de etileno	127-18-4	Área de recepción (1), Área de formulaciones (1), Bodega principal (1)	0,0386	20	No
7	Cloruro de tricloroacetilo	76-02-8	Área de recepción (1), Área de formulaciones (1), Bodega principal (1)	0,2219	ND	No
8	Cloroformo	67-66-3	Área de recepción (0), Área de formulaciones (1), Bodega principal (1)	1,1394	2	No
9	2-Cloro-1,3-butadieno	126-99-8	Área de recepción (0), Área de formulaciones (3), Bodega principal (2)	0,2972	10	No
10	Acetato de etilo	141-78-6	Área de recepción (0), Área de formulaciones (3), Bodega principal (2)	0,2000	200	Si
11	Tetrahidrofurano	109-99-9	Área de recepción (0), Área de formulaciones (3), Bodega principal (2)	0,2587	50	No
12	Cloroformiato de isobutilo	543-27-1	Área de recepción (0), Área de formulaciones (1), Bodega principal (0)	0,4000	0,28	No
13	1,2 (±) oxido de butileno	106-88-7	Área de recepción (0), Área de formulaciones (3), Bodega principal (2)	0,4264	140	No
14	1,1,1-tricloroetano	71-55-6	Área de recepción (2), Área de formulaciones (2), Bodega principal (4)	0,5041	100	No
15	Isobutanol	78-83-1	Área de recepción (0), Área de formulaciones (0), Bodega principal (1)	0,0553	50	No
16	Alilamina	107-11-9	Área de recepción (0), Área de formulaciones (1), Bodega principal (0)	0,0187	1,2	No
17	Epiclorhidrina	106-89-8	Área de recepción (0), Área de formulaciones (1), Bodega principal (0)	0,0439	6,7	No
18	1,2 Dicloroetano	107-06-2	Área de recepción (1), Área de formulaciones (0), Bodega principal (0)	0,4250	2	No
19	Metacrilato de metilo	80-62-6	Área de recepción (1), Área de formulaciones (0), Bodega principal (0)	0,1594	50	No
20	Tricloroetileno	79-01-6	Área de recepción (0), Área de formulaciones (0), Bodega principal (1)	0,1594	10	No
21	2-butanona	78-93-3	Area de recepción (0), Area de formulaciones (1), Bodega principal (1)	0,0619	200	No
22	Acetato de Vinilo	108-05-4	Área de recepción (0), Área de formulaciones (1), Bodega principal (1)	0,0619	5	No

Fuentes: Hojas de seguridad de las sustancias obtenidas de la casa matriz Sigma Aldrich, 2021 y valores individuales de los niveles de referencia de exposición aguda (AEGL) de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (EPA). (69-71). Medición “*in situ*” realizada durante las campañas de muestreo del 16 julio del 2021 al 5 agosto del 2021.

Es importante señalar que no todos los productos (Cuadro 4) detectados experimentalmente están presentes físicamente como materia prima o producto terminado en el sitio de estudio. Aproximadamente el 10 % de las sustancias detectadas corresponden a las existentes en el sitio de estudio, entre estas el tolueno y el acetato de etilo. Estos productos presentan VLA experimentales de 5,1693 ppm y 0,2000 ppm respectivamente, no superando los valores teóricos recomendados de exposición diaria que son 50,00 ppm y 200 ppm para el tolueno y acetato de etilo, respectivamente.

De acuerdo con el cuadro 4, un 90% de los contaminantes atmosféricos internos detectados no se encuentra dentro del inventario físico de la empresa, entre estos: tetracloruro de etileno ($VLA_{exp} = 0,0386$ ppm), 1,2 (\pm)-óxido de butileno ($VLA_{exp} = 0,4264$ ppm) e isobutanol ($VLA_{exp} = 0,0553$ ppm) cuyos VLA teóricos son: 20 ppm, 140 ppm y 50 ppm, respectivamente. La presencia de estos contaminantes detectados experimentalmente y que no están presentes físicamente en el sitio de estudio se puede deber a factores como reacciones de ozono/alqueno en ambientes internos que generan la producción del radical hidroxilo y da la formación de contaminantes secundarios [23], la interacción de otros oxidantes fuertes con compuestos orgánicos volátiles, generando contaminantes internos secundarios y/o la presencia de amoníaco debido al lauril sulfato de amonio, el cual brinda un efecto de sinergia con el ozono que influye directamente en la formación de otros contaminantes [24].

Al comparar los VLA teóricos de los productos químicos cuantificados con los valores experimentales obtenidos, se tiene que un 95 % de los productos presentan un valor experimental menor al valor de referencia teórico recomendado por diferentes entes (NIOHS, OSHA y EPA). Esto implica que los trabajadores presentes en el sitio de estudio no están expuestos a niveles de concentración de productos químicos que les pueda generar afectaciones a la salud a corto o mediano plazo, siempre y cuando laboren jornadas de exposición de 8 horas diarias.

El único contaminante interno detectado por encima del valor VLA teórico corresponde al isocianato de *N*-butilo con un valor experimental de 0,1998 ppm ($VLA_{teo} = 0,0026$ ppm). Este contaminante se detectó en las áreas de formulación de productos químicos, bodega de almacenamiento principal y recepción. La presencia de este compuesto puede deberse a la interacción entre los productos de limpieza y los productos empleados en los procesos productivos (poliquar CC7 y eutanol G), los cuales pueden generar la formación de contaminantes secundarios como el isocianato de *N*-butilo [23]. La exposición a los VLA-ED al isocianato de *N*-butilo puede generar afectaciones a la salud tales como: alergia o asma, efectos en las vías respiratorias y su mortalidad en caso de una prolongada inhalación de concentraciones mayores a 0.0026 ppm. Con el objetivo de minimizar los efectos a la salud de los trabajadores por la exposición a este compuesto, se recomienda la implementación inmediata de sistemas extractores de aire.

Conclusiones

Con respecto a las condiciones de seguridad en el uso y el almacenamiento de los productos químicos es fundamental implementar programas de capacitación y formación sobre el uso correcto de protección personal. Por su parte los aspectos con una mejor gestión del riesgo químico corresponden a: disposición de ventilación adecuada a lo largo de sus instalaciones y adecuado estado de los recipientes de productos químicos.

Los mayores valores de nivel de riesgo de inhalación de los productos químicos (P_{inh}) corresponden a la cocoamidopropyl betaine, poliquar CC7 y quartamin 60, los cuales presentan valores de riesgo de 50000.

El isocianato de *N*-butil es el único contaminante atmosférico que supera el valor teórico permitido (VLA_{teo} , 0,0026 ppm) reportándose un valor experimental de 0,1998 ppm. sus posibles efectos sobre la salud pueden ser la generación de alergia o asma y afectar.

Un 90 % de los COVs detectados no se encuentran dentro del inventario físico de la empresa, su origen podría deberse a factores como: la formación de subproductos generados de manera “*in situ*” en procesos secundarios y contaminantes provenientes de fuentes externas a la empresa.

Un total de 95 % de los productos presentan un valor experimental menor al valor de referencia teórico recomendado por diferentes entes (NIOSH, OSHA y EPA). Esto implica que los trabajadores presentes en el sitio de estudio no están expuestos a niveles de concentración de productos químicos que les pueda generar afectaciones a la salud a corto o mediano plazo, siempre y cuando laboren jornadas de exposición de 8 horas diarias.

Agradecimientos

Al Laboratorio de Química de la Atmósfera (LAQAT-UNA) de la Universidad Nacional de Costa Rica, por todo el soporte instrumental para la elaboración del presente trabajo.

Referencias

- [1] R. Gonzalo, “Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) en la industria de pinturas y sus disolventes en Perú, análisis de caso y estrategias de gestión ambiental y salud ocupacional”. Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, 2017.
- [2] D. Grosjean, “*In situ* organic aerosol formation during a smog episode: Estimated production and chemical functionality”. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*, vol. 26, no 6, pp. 953-963. 1992. [https://doi.org/10.1016/0960-1686\(92\)90027-1](https://doi.org/10.1016/0960-1686(92)90027-1)
- [3] R. Tong, L. Zhang, X. Yang, J. Liu, P. Zhou, and J. Li, “Emission characteristics and probabilistic health risk of volatile organic compounds from solvents in wooden furniture manufacturing”. *Journal of Cleaner Production*, vol. 208, pp. 1096-1108. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.195>
- [4] C. H. Halios, C. Landeg-Cox, S. D. Lowther, A. Middleton, T. Marczylo, and S. Dimitroulopoulou, “Chemical in European residences – Part I: A review of emissions, concentrations and health effects of volatile organic compounds (VOCs)”. *Science of the Total Environment*, vol. 839, 156201. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156201>
- [5] Y. Ren, Z. Qu, Y. Du, R. Xu, D. Ma, G. Yang, Y. Shi, X. Fan, A. Tani, P. Guo, Y. Ge, and J. Chang, “Air quality and health effects of biogenic volatile organic compounds emission from urban green spaces and the mitigation strategies”. *Environmental Pollution*, vol. 230, pp. 849-861. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.06.049>
- [6] Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). Límites de exposición profesional para agentes químicos en España. 2022. Madrid. 2022. Recuperado de <https://www.insst.es/el-instituto-al-dia/limites-de-exposicion-profesional-para-agentes-quimicos-2022>
- [7] J. C. Mora Barrantes, J. P. Sibaja Brenes, W. Umaña Herrera, y R. Zamora Sequeira, “Sistemas de información para la identificación y clasificación de peligros y riesgos de productos químicos”; EUNA: Heredia, Costa Rica, 2015.
- [8] M. Feszterová, “Education for future teachers to OHS principles - Safety in Chemical Laboratory”. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, vol. 191, no 2, pp. 890-895. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.04.698>
- [9] S. N. H. Husin, A. B. Mohamad, S. R. S. Abdullah, and N. Anuar, “Chemical health risk assessment at the chemical and biochemical engineering laboratory”. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, vol. 60, pp. 300-307. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.383>
- [10] E. Tjoe-Nij, C. Rochin, N. Berne, A. Sassi, and A. Leplay, “Chemical risk assessment screening tool of a global chemical company”. *Safety and Health at Work*, vol. 9, no 1, pp. 84-94. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2017.06.012>
- [11] F. Sicilia-Gutiérrez, “La peligrosidad en laboratorios químicos: Método para su evaluación y clasificación”. Tesis de Maestría, Universidad de Granada, España, 2013

- [12] D. Marín-Sánchez, O. M. de Oca-Abella, y Y. González-Díaz, "Evaluación de riesgos químicos en un laboratorio de química analítica por el método Cossh Essential". *Ciencia en su PC*, no 13, pp. 91-106. 2017. Recuperado de <https://www.redalyc.org/journal/1813/181353026008/>
- [13] A. Segura-López, y A. R. Mauri-Aucejo, "Comparación de dos métodos de evaluación simplificada del riesgo químico por inhalación en un laboratorio universitario (COSHH Essential y método basado en el INRS)". *Archivos de Prevención de Riesgos Laborales*, vol. 19, no 2, pp. 107-109. 2016. <https://dx.doi.org/10.12961/aprl.2016.19.02.5>
- [14] J. L. Saá-Loor, y A. L. León-Villón, "Evaluación de riesgo químico mediante los métodos INRS y COSHH Essentials en empresa minera Produmin S. A. Camilo Ponce Enríquez 2019" Tesis de Maestría, Universidad del Azuay, Ecuador, 2020
- [15] F. Golbabaie, F. Dehghani, M. Saatchi, and S. A. Zakerian, "Evaluation of occupational exposure to different levels of mixed organic solvents and cognitive function in the painting unit of an automotive industry". *Health Promotion Perspectives*, vol. 8, no 4, pp. 296-302. 2018. [10.15171/hpp.2018.42](https://doi.org/10.15171/hpp.2018.42)
- [16] Y. Miyake, M. Tokumura, Q. Wang, Z. Wang, and T. Amagai, "Comparison of the volatile organic compound recovery rates of commercial active samplers for evaluation of indoor air quality in work environments". *Air Quality, Atmosphere and Health*, vol. 10, no 6, pp. 737-746. 2017. [10.1007/s11869-017-0465-0](https://doi.org/10.1007/s11869-017-0465-0)
- [17] P. Monge, C. Wesseling, J. Guardado, I. Lundberg, A. Ahlbom, K. P. Cantor, E. Weiderpass, and T. Partanen, "Parental occupational exposure to pesticides and the risk of childhood leukemia in Costa Rica". *Scandinavian Journal of Work, Environmental and Health*, vol. 33, no 4, pp. 293-303. 2007. [10.5271/sjweh.1146](https://doi.org/10.5271/sjweh.1146)
- [18] L. Quesada, "Propuesta del sistema de tratamiento de emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV's), en el plantel de RECOPE ubicado en el Alto de Ochomogo". Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica, 2013.
- [19] J. Rodríguez, "Inventario de compuestos tóxicos peligrosos del aire en el Gran Área Metropolitana para el año 2007". Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Costa Rica, Costa Rica, 2012.
- [20] Y. Zhang, D. Wu, X. Yan, K. Ding, and Y. Guan, "Integrated gas chromatography for ultrafast analysis of volatile organic compounds in air". *Talanta*, vol. 154, no 1, pp. 548-554. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2016.04.004>
- [21] S. M. Dutton, M. J. Mendell, W. R. Chan, M. Barrios, M. A. Sidheswaran, D. P. Sullivan, E. A. Eliseeva, and W. J. Fisk, "Evaluation of the indoor air quality minimum ventilation rate procedure for use in California retail buildings". *Indoor Air*, vol. 25, no 1, pp. 93-104. 2015. [10.1111/ina.12125](https://doi.org/10.1111/ina.12125)
- [22] A. T. Fidler, E. L. Baker, and R. E. Letz, "Neurobehavioural effects of occupational exposure to organic solvents among construction painters". *British Journal of Industrial Medicine*, vol. 44, no 5, pp. 292-308. 1987.
- [23] Y. Elshorbany, I. Barnes, K. H. Becker, J. Kleffmann, and P. Wiesen, "Sources and cycling of tropospheric hydroxyl radical – An overview". *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, vol. 224, pp. 7 – 8. 2010. <https://doi.org/10.1524/zpch.2010.6136>
- [24] Y. Huang, S. C. Lee, K. F. Ho, S. S. Hang Ho, N. Cao, Y. Cheng, and Y. Gao, "Effect of ammonia on ozone-initiated formation of indoor secondary products with emissions from cleaning products". *Atmospheric Environment*, vol. 59, pp. 224-231. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.04.059>