

Exposición Ocupacional a sustancias químicas peligrosas y su relación con alteraciones respiratorias en trabajadores industriales, factores de riesgo y medidas preventivas

Occupational exposure to hazardous chemicals and its relationship with respiratory disorders in industrial workers, risk factors and preventive measures

Exposição ocupacional a produtos químicos perigosos e sua relação com distúrbios respiratórios em trabalhadores da indústria: fatores de risco e medidas preventivas.

Steeven Eduardo Carpio Candelario
Universidad Casa Grande
Ecuador
steveen.carpio@ug.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0007-4036-3331>

José Luis Saá Loor
Universidad Católica Santiago de Guayaquil
Ecuador
jose.saa@cuucsg.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-2654-1935>

Carlos Eduardo Mera Mora
Capimer
Ecuador
bomberedume@yahoo.com
<https://orcid.org/0009-0004-8356-1678>

Wilmer Romeo Albán Holguín
Sominur CLTDA.
Ecuador
w.alban@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-1078-0333>

Ronald Fabricio Cáceres Chango
Universidad Estatal de Milagro
Ecuador
ronald_caceres@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-3795-6730>

Forma de citación en APA, séptima edición.

Carpio, S; Saá, J; Mera, C; Albán, W; Cáceres, R. (2026). *Exposición Ocupacional a sustancias químicas peligrosas y su relación con alteraciones respiratorias en trabajadores industriales, factores de riesgo y medidas preventivas*. Revista Ibero Research, 1(7), 1216 - 1251.

Resumen

Las exposiciones químicas industriales pueden asociarse con síntomas y enfermedades respiratorias. Se realizó una revisión narrativa crítica de revisiones, cohortes y estándares técnicos sobre agentes, medición y prevención. Se distinguieron síntomas, asma, EPOC y silicosis, conservando medidas de asociación y límites de inferencia. La evidencia identifica riesgos relacionados con limpieza, plaguicidas, compuestos volátiles, isocianatos y sílice, con heterogeneidad de tareas y poblaciones. Se propone un programa que conecta inventario, evaluación higiénica, controles y vigilancia. Se concluye que la prevención debe actuar sobre fuentes y exposición acumulada, con protección respiratoria adecuada, mediciones válidas y confidencialidad, sin sustituir controles técnicos por exámenes periódicos.

Palabras clave: exposición ocupacional; sustancias químicas; enfermedades respiratorias; higiene industrial; prevención.

Abstract

Industrial chemical exposures may be associated with respiratory symptoms and disease. A critical narrative review examined reviews, cohorts, and technical standards addressing agents, measurement, and prevention. Symptoms, asthma, COPD, and silicosis were differentiated, preserving association measures and inferential limitations. Evidence identifies risks related to cleaning, pesticides, volatile compounds, isocyanates, and silica, with heterogeneous tasks and populations. A program connecting inventories, exposure assessment, controls, and surveillance is proposed. Prevention should address sources and cumulative exposure through appropriate respiratory protection, valid measurements, and confidentiality, without replacing engineering controls with periodic examinations.

Keywords: occupational exposure; chemicals; respiratory diseases; industrial hygiene; prevention.

Resumo

Exposições químicas industriais podem estar associadas a sintomas e doenças respiratórias. Realizou-se uma revisão narrativa crítica de revisões, coortes e padrões técnicos sobre agentes, medição e prevenção. Distinguiram-se sintomas, asma, DPOC e silicose, preservando medidas de associação e limites de inferência. A evidência identifica riscos relacionados à limpeza, a pesticidas, compostos voláteis, isocianatos e sílica, com heterogeneidade de tarefas e populações. Propõe-se um programa que conecta inventário, avaliação da exposição, controles e vigilância. A prevenção deve atuar sobre fontes e exposição acumulada, com proteção respiratória adequada, medições válidas e confidencialidade, sem substituir controles técnicos por exames periódicos.

Palavras-chave: exposição ocupacional; substâncias químicas; doenças respiratórias; higiene industrial; prevenção.

Introducción

La utilización de sustancias químicas constituye un componente esencial de numerosos procesos industriales. Sectores como manufactura, construcción, minería, metalurgia, producción de pinturas, fabricación de plásticos, industria farmacéutica, agricultura industrial, procesamiento de alimentos y limpieza industrial utilizan productos químicos con diferentes características toxicológicas. Aunque muchas de estas sustancias son indispensables para los procesos productivos, su manipulación inadecuada puede generar exposiciones capaces de producir efectos adversos sobre la salud. (1)

El aparato respiratorio representa uno de los principales órganos diana frente a los contaminantes químicos presentes en el ambiente laboral. La inhalación permite que gases, vapores, partículas, humos y aerosoles ingresen directamente a las vías respiratorias. Dependiendo de las características fisicoquímicas del contaminante, el tamaño de las partículas, la concentración ambiental y el tiempo de exposición, las sustancias pueden depositarse en diferentes regiones del tracto respiratorio o atravesar las barreras pulmonares. (1)

Los efectos respiratorios pueden ser agudos o crónicos. Las exposiciones intensas pueden generar irritación, broncoespasmo, neumonitis química o lesiones pulmonares graves, mientras que las exposiciones repetidas pueden contribuir al desarrollo de asma ocupacional, bronquitis crónica, disminución de la función pulmonar, enfermedad pulmonar obstructiva crónica y neumoconiosis. (1)

La evidencia epidemiológica respalda la importancia de las exposiciones ocupacionales como determinantes de enfermedades respiratorias. Un metaanálisis sobre vapores, gases, polvos y humos encontró una asociación entre exposición ocupacional a estos contaminantes y mayor riesgo de enfermedad pulmonar obstructiva crónica. Asimismo, revisiones sistemáticas recientes han documentado alteraciones respiratorias en

trabajadores expuestos a productos de limpieza, plaguicidas, sílice y compuestos orgánicos volátiles. (1)

El problema adquiere especial relevancia debido a que determinadas exposiciones pueden permanecer inadvertidas durante años. La ausencia de síntomas inmediatos no necesariamente significa ausencia de riesgo. Algunas enfermedades respiratorias ocupacionales presentan una evolución progresiva y pueden manifestarse clínicamente después de períodos prolongados de exposición. (1)

En este contexto, la prevención debe sustentarse en la identificación de peligros, evaluación de la exposición, implementación de controles en la fuente y vigilancia de la salud. El equipo de protección personal, particularmente los respiradores, constituye una medida importante, pero no debería convertirse en la principal estrategia de control cuando existen alternativas de ingeniería capaces de reducir o eliminar la exposición. (1)

El objetivo de esta revisión es analizar la relación entre la exposición ocupacional a sustancias químicas peligrosas y las alteraciones respiratorias en trabajadores industriales, identificando los principales factores que incrementan el riesgo y las medidas preventivas que pueden contribuir a disminuir la carga de enfermedad ocupacional. (1)

La exposición química ocupacional debe describirse por agente, tarea, intensidad y duración. La denominación genérica de trabajador industrial agrupa procesos muy distintos: corte de materiales con sílice, aplicación de pinturas, uso de isocianatos, limpieza y manipulación de plaguicidas generan perfiles de riesgo específicos. Agruparlos sin caracterización puede ocultar relaciones relevantes y producir medidas preventivas insuficientes. (2,3,1)

Las alteraciones respiratorias incluyen síntomas, obstrucción, sensibilización y fibrosis, que no constituyen desenlaces equivalentes. Una encuesta de tos no confirma asma ocupacional; una disminución espirométrica requiere calidad técnica e interpretación clínica; y la silicosis tiene una historia natural vinculada a exposición mineral. La revisión distingue estos niveles para evitar que todo síntoma sea presentado como diagnóstico confirmado. (4,5,6)

La carga ocupacional de enfermedad respiratoria no desaparece cuando existe tabaquismo. Ambos factores pueden contribuir y deben evaluarse simultáneamente; atribuir todo deterioro al consumo de tabaco puede invisibilizar exposiciones modificables. La declaración ATS/ERS sobre carga ocupacional y los estudios de cohortes permiten ampliar la evaluación más allá de una explicación individual exclusiva. (1,7)

El objetivo es sintetizar asociaciones entre sustancias y alteraciones respiratorias, valorar límites de medición y proponer un programa preventivo basado en control de exposición y vigilancia. La aplicación a industrias ecuatorianas se formula como adaptación técnica, sin presentar prevalencias extranjeras como resultados locales ni importar automáticamente límites regulatorios de otras jurisdicciones.

Metodología

Se realizó una revisión narrativa crítica, de alcance documental y orientación aplicada. El material temático inicial se amplió mediante búsquedas dirigidas en registros académicos y publicaciones originales disponibles; se verificaron identidad bibliográfica y correspondencia de las fuentes con las afirmaciones. La búsqueda complementaria se cerró el 5 de octubre de 2026 y conservó trabajos fundacionales cuando eran necesarios para interpretar la evidencia reciente.

Se consultaron registros de Europe PMC/PubMed, metadatos DOI y páginas de revistas u organismos pertinentes. Se incluyeron publicaciones con relación directa con la pregunta y datos o argumentos interpretables; se excluyeron duplicados bibliográficos, referencias que no correspondían al contenido atribuido y trabajos ajenos al objeto. No se declararon búsquedas en bases de suscripción no consultadas ni un proceso exhaustivo de revisión sistemática.

La selección fue intencional y se utilizó una matriz de extracción para ordenar diseño, población u objeto, resultados, medida y limitaciones. El análisis fue comparativo y temático; los resultados cuantitativos se conservaron en su contexto y las propuestas se diferenciaron de hallazgos empíricos. Las tablas y gráficos se elaboraron con información publicada, sin crear participantes, observaciones o estimaciones de efecto propias.

La revisión utilizó fuentes documentales públicas y no intervino sobre personas ni accedió a registros individuales identificables. No se atribuye una aprobación ética inexistente. Se mantuvo trazabilidad mediante DOI o URL y se realizó una comprobación de correspondencia entre citas y referencias, junto con revisión de coherencia de cifras y elementos visuales.

Se realizó una revisión narrativa crítica con búsqueda complementaria de occupational exposure, workers, respiratory, asthma, silica, silicosis y pulmonary disease. Se priorizaron revisiones sistemáticas, cohortes y estándares técnicos, incorporando documentos oficiales sobre jerarquía de controles y protección respiratoria. La unidad de análisis fue la publicación; no se reclutaron trabajadores ni se efectuaron mediciones ambientales propias.

La extracción diferenció exposición a mezclas, agentes específicos y categorías ocupacionales. Se registró si la evaluación se basaba en muestreo, historia laboral,

matriz empleo-exposición o autoinforme; esos métodos tienen precisión distinta y no permiten intercambiar directamente concentraciones. También se distinguieron exposición actual y acumulada, especialmente en enfermedades con latencia prolongada.

Los desenlaces se clasificaron como síntomas, diagnóstico de asma, EPOC, cambio funcional o silicosis. Las medidas de asociación se mantuvieron en su forma original: riesgo relativo, odds ratio o hazard ratio; no se transformaron unas en otras sin datos suficientes. Las estimaciones de diferentes revisiones no se combinaron, por posible solapamiento y heterogeneidad de poblaciones.

El examen crítico consideró tabaquismo, edad, exposición previa, selección del trabajador sano y calidad de medición. La vigilancia funcional se interpretó con estándares ATS/ERS, mientras que la propuesta de controles siguió la jerarquía preventiva. Estas fuentes no se utilizaron para atribuir una obligación jurídica ecuatoriana específica que no hubiera sido objeto de análisis normativo. (4,5,8)

Los cuatro gráficos muestran estimaciones publicadas sobre limpieza, plaguicidas, compuestos orgánicos volátiles y sílice. Se conservan intervalos y desenlaces, sin comparar sus magnitudes como si fueran riesgos intercambiables. La matriz preventiva constituye una propuesta de implementación; no se le asignan porcentajes de eficacia ni reducción de enfermedad no medidos.

Resultados

La exposición respiratoria ocupacional puede producirse por diferentes grupos de sustancias. Entre los contaminantes de mayor relevancia se encuentran los gases, vapores orgánicos, humos metálicos, polvos minerales, fibras, aerosoles y partículas ultrafinas. (2)

Los compuestos orgánicos volátiles (COV) son frecuentes en industrias de pinturas, barnices, adhesivos, impresión, limpieza, fabricación de productos químicos y procesos de desengrase. Solventes como tolueno, xileno, acetona y otros compuestos pueden generar irritación de las vías respiratorias y, dependiendo del agente y del nivel de exposición, contribuir a alteraciones respiratorias. (2)

Los isocianatos son utilizados ampliamente en la fabricación de poliuretanos, pinturas, espumas y recubrimientos. Constituyen un grupo especialmente importante debido a su capacidad sensibilizante. La literatura ha identificado los isocianatos como agentes asociados con asma ocupacional y otros trastornos respiratorios. (2)

La sílice cristalina respirable representa otro peligro relevante, particularmente en minería, construcción, fabricación de cemento, procesamiento de piedra, cerámica y determinadas operaciones industriales. La exposición acumulativa puede provocar silicosis y se ha relacionado también con alteraciones obstructivas y otras enfermedades pulmonares. (2)

Los humos metálicos generados durante procesos de soldadura, corte y fundición pueden contener diferentes metales y productos derivados del proceso térmico. Su composición depende del material tratado, electrodos, revestimientos y condiciones de trabajo. (2)

Los plaguicidas representan otra categoría de sustancias químicas capaces de generar exposición ocupacional, especialmente entre trabajadores agrícolas y personas involucradas en su preparación, aplicación y mantenimiento de equipos de fumigación. (2)

Asimismo, determinados productos de limpieza, desinfectantes, blanqueadores y sustancias utilizadas en mantenimiento industrial pueden generar irritación y sensibilización respiratoria. (2)

Por tanto, el término "sustancia química peligrosa" engloba un conjunto heterogéneo de agentes con mecanismos de toxicidad diferentes. La evaluación preventiva debe realizarse considerando las propiedades específicas de cada sustancia y no únicamente su clasificación general. (2)

La irritación constituye uno de los efectos más frecuentes de la exposición a determinados productos químicos. Puede manifestarse mediante tos, ardor nasal, rinorrea, dolor o irritación faríngea, sensación de opresión torácica y disnea. (6)

Las sustancias irritantes pueden producir inflamación directa de las mucosas. Cuando la exposición es intensa, pueden presentarse lesiones más graves del epitelio respiratorio. (6)

La tabla 1 organiza agentes, procesos y alteraciones respiratorias, con indicación del alcance de cada componente y de las fuentes que sustentan su interpretación.

Tabla 1

Agentes, procesos y alteraciones respiratorias

Exposición	Contexto	Resultado relevante
Sílice respirable	Corte, minería y manufactura	Silicosis y obstrucción (6,9)
Isocianatos	Pinturas y poliuretanos	Asma ocupacional (10,11)
Limpieza	Desinfección y pulverización	Asma y enfermedad obstructiva (12,13)
Compuestos volátiles	Pintura y disolventes	Síntomas y función (14)

Fuente: Síntesis de fuentes; cada proceso necesita evaluación específica.

La exposición repetida puede mantener procesos inflamatorios que contribuyen al desarrollo de síntomas persistentes y alteraciones funcionales. (6)

El asma ocupacional constituye una de las enfermedades respiratorias más relevantes asociadas con el ambiente de trabajo. Puede producirse mediante mecanismos inmunológicos o no inmunológicos. (6)

Entre los agentes asociados se encuentran isocianatos, determinados metales, productos de limpieza, enzimas, biocidas y otras sustancias sensibilizantes. (6)

En trabajadores expuestos a productos de limpieza, una revisión sistemática y metaanálisis que incluyó 39 estudios encontró un incremento del riesgo de asma y también una asociación con enfermedad pulmonar obstructiva crónica. Los autores destacaron, además, la necesidad de mejorar la caracterización cuantitativa de las exposiciones. (6)

El asma ocupacional presenta particular importancia porque la persistencia de la exposición después de la aparición de los síntomas puede contribuir a un peor pronóstico. En consecuencia, la identificación temprana de síntomas relacionados con determinadas tareas laborales resulta fundamental. (6)

La enfermedad pulmonar obstructiva crónica no debe considerarse exclusivamente una consecuencia del tabaquismo. Las exposiciones ocupacionales a polvos, gases, vapores y humos también constituyen factores potenciales. (6)

Un metaanálisis de estudios epidemiológicos encontró una asociación entre exposición ocupacional a vapores, gases, polvos y humos y un mayor riesgo de EPOC. La exposición puede actuar de manera independiente o interactuar con otros factores, particularmente el tabaquismo. (6)

Los resultados respaldan la necesidad de considerar la historia ocupacional en la evaluación clínica de trabajadores con síntomas respiratorios crónicos. (6)

Archangelidi y colaboradores incluyeron 39 estudios sobre salud respiratoria de personal de limpieza. La síntesis estimó riesgo relativo de 1,50 para asma y de 1,43 para EPOC, con limitaciones por ausencia de cuantificación de productos. El resultado respalda atención preventiva, pero no identifica por sí solo qué sustancia explica todo el riesgo ni permite atribución individual automática. (12)

El consenso europeo sobre limpieza y asma describe productos y tareas relevantes, incluyendo pulverización y mezclas. La cohorte CONSTANCES aporta asociaciones

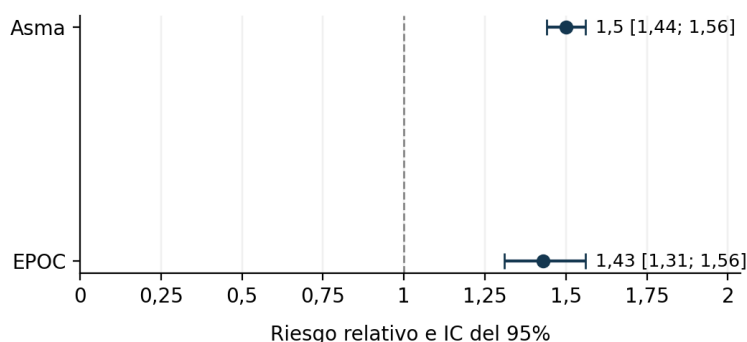
con exposiciones laborales a irritantes a lo largo de la vida; la falta de una relación uniforme con exposición actual muestra la importancia de historia ocupacional y cambios de puesto. Un resultado actual bajo puede reflejar alejamiento previo del agente. (13,15)

La revisión de sensibilizantes de Dalbøge y colaboradores identificó diferencias en la fuerza de evidencia entre grupos de agentes. Su lectura impide tratar todo producto químico como un sensibilizante demostrado y, al mismo tiempo, destaca exposiciones que requieren investigación y control. La evaluación debe vincular producto, tarea y mecanismo, no solo la presencia de una advertencia general. (16)

El gráfico 1 presenta asociación de trabajo de limpieza con enfermedad obstructiva. Se conserva la unidad y el contexto de los datos para distinguir la descripción publicada de las implicaciones propuestas.

Gráfico 1

Asociación de trabajo de limpieza con enfermedad obstructiva



Fuente: elaboración propia. (12): síntesis publicada; diagnósticos y estudios diferentes.

Los dos desenlaces muestran asociación, pero proceden de conjuntos que pueden diferir y no deben sumarse. El riesgo relativo expresa comparación poblacional y no probabilidad individual; tampoco identifica un producto responsable sin medición específica. La prevención necesita caracterizar tareas y mezclas en cada lugar de trabajo.

La inflamación crónica inducida por contaminantes puede contribuir a la aparición de tos y expectoración persistentes y a alteraciones de la función pulmonar. (6)

En trabajadores de la industria de pinturas expuestos a COV, una revisión sistemática y metaanálisis reciente encontró mayores probabilidades de síntomas como tos, disnea, irritación nasofaríngea y sibilancias, además de reducciones en parámetros espirométricos como FEV1 y la relación FEV1/FVC. (6)

Estos resultados son particularmente relevantes para la vigilancia ocupacional porque muestran que el impacto respiratorio puede identificarse mediante síntomas y pruebas funcionales antes de que aparezcan cuadros clínicos avanzados. (6)

La inhalación crónica de determinadas partículas minerales puede generar neumoconiosis. La sílice cristalina respirable constituye uno de los ejemplos más importantes. (6)

La silicosis es una enfermedad pulmonar asociada con exposición a sílice cristalina respirable. La evidencia reciente muestra una relación entre exposición acumulativa y riesgo de silicosis, destacando la importancia de controlar tanto las concentraciones ambientales como la duración acumulada de la exposición. (6)

La exposición a sílice también puede relacionarse con enfermedad pulmonar obstructiva y alteraciones respiratorias incluso en ausencia de manifestaciones radiológicas avanzadas de silicosis. (6)

La aparición de alteraciones respiratorias relacionadas con el trabajo depende de la interacción entre las características del contaminante, las condiciones de exposición y las características individuales del trabajador. (2)

La concentración del contaminante constituye uno de los principales determinantes del riesgo. Una mayor concentración generalmente incrementa la cantidad inhalada, aunque

la relación entre concentración y daño puede variar considerablemente según la sustancia. (2)

Las exposiciones repetidas durante meses o años pueden generar una carga acumulativa importante. La exposición crónica a sílice constituye un ejemplo en el que la dosis acumulativa desempeña un papel relevante. (2)

El tamaño de las partículas determina su capacidad de penetración en el aparato respiratorio. Las partículas respirables pueden alcanzar regiones pulmonares profundas, mientras que gases y vapores presentan mecanismos de distribución diferentes. (2)

La tabla 2 organiza métodos para caracterizar exposición, con indicación del alcance de cada componente y de las fuentes que sustentan su interpretación.

Tabla 2

Métodos para caracterizar exposición

Método	Aporte	Límite
Historia laboral	Tareas y temporalidad	Recuerdo e información incompleta
Matriz empleo-exposición	Reconstrucción por ocupación	Variación individual
Muestreo personal	Exposición durante actividad	Representatividad temporal
Muestreo ambiental	Fuentes y áreas	No equivale a dosis personal

Fuente: Elaboración propia con base en (2,3,17,15).

La volatilidad, solubilidad, reactividad y capacidad de sensibilización también influyen en el efecto respiratorio. (2)

Los procesos realizados en espacios cerrados o con ventilación insuficiente pueden generar acumulación de contaminantes. (2)

La ventilación general puede ser útil, pero en numerosos procesos es necesario utilizar extracción localizada cerca del punto de generación para impedir que el contaminante llegue a la zona respiratoria del trabajador. (2)

La transferencia manual, mezcla, pulverización, limpieza de equipos y manipulación de recipientes abiertos pueden incrementar la exposición. (2)

Los sistemas cerrados y automatizados pueden disminuir significativamente el contacto entre el trabajador y la sustancia. (2)

El desconocimiento de las propiedades peligrosas de un producto puede conducir a errores en almacenamiento, preparación, mezcla, manipulación o eliminación. (2)

La capacitación debe incluir interpretación de etiquetas y fichas de datos de seguridad, procedimientos operativos, respuesta ante derrames y utilización correcta de los controles. (2)

Un respirador incorrectamente seleccionado, mal ajustado o utilizado durante un período inadecuado puede proporcionar una protección inferior a la esperada. (2)

Pourhassan y colaboradores reunieron nueve estudios con 101.353 participantes. Las asociaciones de plaguicidas con enfermedad obstructiva, bronquitis crónica y EPOC fueron diferentes y presentaron heterogeneidad. La categoría plaguicidas engloba sustancias y formas de aplicación diversas; el gráfico reproduce la síntesis publicada sin convertirla en una estimación universal para todos los productos o sectores. (18)

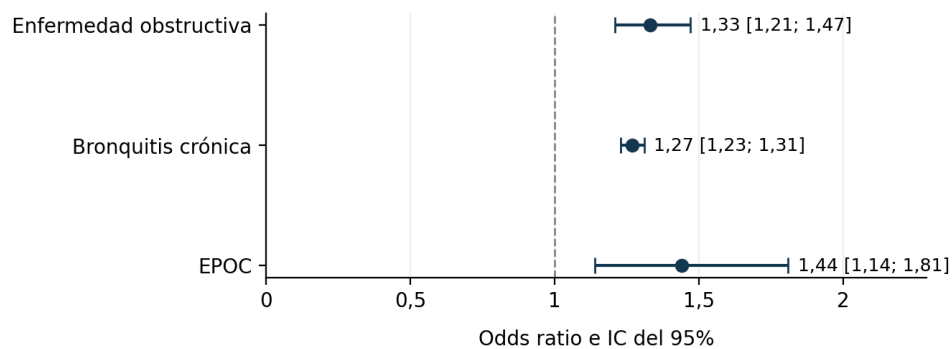
La revisión de vapores, gases, polvos y humos encontró una asociación con EPOC, mientras que la cohorte multinacional BOLD aportó seguimiento sobre función y exposiciones. Ambos enfoques contribuyen a la plausibilidad ocupacional, pero las categorías amplias limitan identificación de agentes concretos. La traducción preventiva requiere investigar procesos y fuentes presentes en cada centro. (19,20)

El estudio de antiguos trabajadores del Departamento de Energía estadounidense identificó asociaciones de exposición y EPOC junto con factores personales. Las cohortes de Ontario y de porcelana alemana amplían contextos y muestran que resultados de un sector no representan a toda la industria; las diferencias en composición, exposición histórica y seguimiento deben mantenerse visibles. (21,7,22)

El gráfico 2 presenta exposición a plaguicidas y desenlaces obstructivos. Se conserva la unidad y el contexto de los datos para distinguir la descripción publicada de las implicaciones propuestas.

Gráfico 2

Exposición a plaguicidas y desenlaces obstructivos



Fuente: elaboración propia. (18). Desenlaces relacionados y no excluyentes; no se suman efectos.

Las medidas corresponden a desenlaces relacionados y exposiciones heterogéneas. Una odds ratio no es una prevalencia ni se interpreta automáticamente como aumento porcentual del riesgo absoluto; este depende de frecuencia basal. La señal epidemiológica apoya control y vigilancia, sin sustituir evaluación individual de exposición.

La protección respiratoria debe formar parte de un programa integral que incluya evaluación del riesgo, selección del respirador, ajuste, capacitación, mantenimiento y vigilancia. (2)

Edad, antecedentes respiratorios, tabaquismo, susceptibilidad individual y condiciones de salud preexistentes pueden modificar la respuesta frente a determinados contaminantes. (2)

Sin embargo, estos factores no deben utilizarse para trasladar la responsabilidad preventiva al trabajador. La exposición laboral debe controlarse independientemente de las características individuales. (2)

La prevención debe basarse en la jerarquía de controles, que prioriza las intervenciones capaces de eliminar o reducir el peligro en la fuente. (8)

La primera alternativa consiste en eliminar la sustancia o el proceso peligroso cuando técnicamente sea posible. (8)

Por ejemplo, si una etapa productiva utiliza una sustancia que no es indispensable, su eliminación puede evitar completamente la exposición asociada. (8)

Cuando la eliminación no es viable, debe analizarse la sustitución por una sustancia menos peligrosa. (8)

La sustitución requiere una evaluación completa porque el producto alternativo no debe introducir un riesgo equivalente o diferente de mayor importancia. (8)

Los controles de ingeniería incluyen; sistemas cerrados; automatización; aislamiento de procesos; extracción localizada; cabinas de ventilación; ventilación adecuadamente diseñada; encapsulamiento de fuentes; métodos húmedos para reducir polvo; mantenimiento preventivo de equipos. (8)

Estos controles presentan una ventaja fundamental: reducen la exposición independientemente de que el trabajador recuerde utilizar correctamente un equipo individual. (8)

La tabla 3 organiza vigilancia respiratoria y calidad, con indicación del alcance de cada componente y de las fuentes que sustentan su interpretación.

Tabla 3

Vigilancia respiratoria y calidad

Componente	Propósito	Control
Síntomas	Reconocer cambios y temporalidad	No equiparar a diagnóstico
Espirometría	Valorar función	Aceptabilidad y repetibilidad (4)
Interpretación	Integrar contexto y referencia	Evitar clasificación aislada (5)
Derivación	Estudiar enfermedad relacionada	Coordinar reducción de exposición (23)

Fuente: Propuesta informada por estándares y revisiones citados.

Incluyen capacitación, procedimientos escritos, señalización, restricción de acceso, programación de tareas, mantenimiento de registros, evaluación periódica y gestión de emergencias. (8)

La rotación de trabajadores puede reducir la exposición individual en determinadas circunstancias, pero no debe utilizarse como sustituto de los controles de ingeniería cuando estos sean factibles. (8)

La protección respiratoria constituye una barrera importante cuando no es posible controlar completamente la exposición mediante las medidas superiores. (8)

La selección debe corresponder al contaminante específico y a sus características físicas y químicas. Los programas de protección respiratoria deben incluir evaluación médica cuando corresponda, selección apropiada, capacitación, ajuste y mantenimiento. (8)

Las mascarillas o respiradores no deben seleccionarse únicamente por disponibilidad o comodidad. El equipo debe ser compatible con el contaminante y con la concentración presente en el lugar de trabajo. (8)

La vigilancia de la salud constituye un componente fundamental de la prevención secundaria. (4)

Los programas ocupacionales deberían establecer evaluaciones periódicas orientadas a identificar síntomas respiratorios y cambios funcionales potencialmente relacionados con la exposición. (4)

Entre las herramientas disponibles se encuentran; cuestionarios respiratorios estandarizados; historia ocupacional detallada; evaluación clínica; espirometría; medición seriada del flujo espiratorio máximo cuando esté indicada; estudios de imagen en situaciones seleccionadas; pruebas específicas para determinados agentes cuando exista indicación clínica. (4)

Sekhar y colaboradores reunieron 23 estudios observacionales de trabajadores de pintura. Se identificaron mayores odds de tos, disnea, irritación y sibilancias, junto con alteraciones funcionales; los efectos sobre síntomas se basaron en comparaciones crudas y existió heterogeneidad alta. No deben presentarse como aumentos de riesgo causal individual ni como una única enfermedad producida por todos los compuestos orgánicos volátiles. (14)

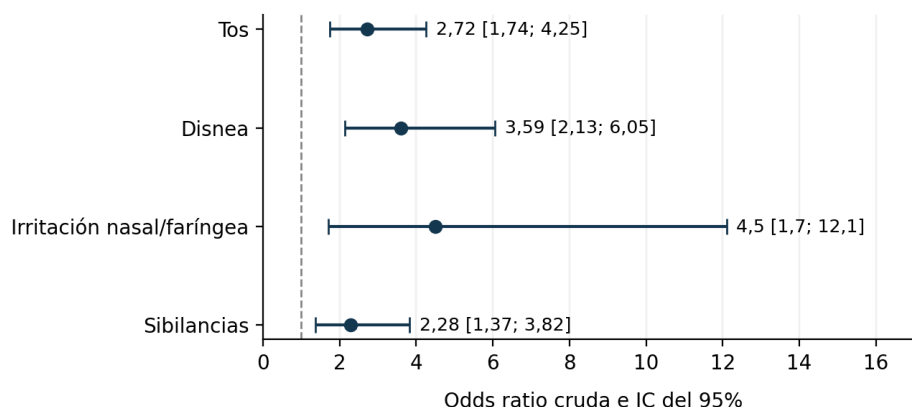
Los isocianatos requieren una aproximación específica. Coureau y colaboradores documentaron persistencia de asma ocupacional pese a cambios preventivos, y Daniels examinó la relación dosis-riesgo para diisocianato de tolueno. Las estimaciones propuestas de exposición no son límites legales universales; además, las métricas de monómeros y poliisocianatos necesitan atención para no subestimar el conjunto de grupos reactivos. (10,11,3)

La evidencia de trabajadores de encimeras y de industrias alimentarias muestra perfiles diferentes de riesgo. En unos predomina la exposición mineral y en otros aparecen sensibilizantes y condiciones de tarea particulares; la vigilancia debe adaptarse a ese perfil. Utilizar el mismo cuestionario o respirador para todos los procesos puede dejar exposiciones importantes sin controlar. (24,25)

El gráfico 3 presenta síntomas en trabajadores de pintura expuestos a compuestos volátiles. Se conserva la unidad y el contexto de los datos para distinguir la descripción publicada de las implicaciones propuestas.

Gráfico 3

Síntomas en trabajadores de pintura expuestos a compuestos volátiles



Fuente: elaboración propia. (14). Heterogeneidad elevada; asociación observacional, no riesgo causal individual.

Los intervalos amplios, especialmente para irritación, muestran incertidumbre considerable. Las estimaciones crudas pueden conservar confusión por tabaquismo y condiciones laborales; por ello, el gráfico no atribuye causalidad individual. Los síntomas deben conducir a evaluación clínica y de exposición, no a diagnóstico automático basado en ocupación.

La historia ocupacional debe investigar las tareas realizadas, sustancias utilizadas, tiempo de exposición, medidas de protección, aparición de síntomas durante o después del trabajo y cambios de síntomas durante períodos de descanso. (4)

Una relación temporal entre síntomas y jornada laboral puede constituir una señal para investigar una posible enfermedad respiratoria relacionada con el trabajo. (4)

La vigilancia no debe limitarse a trabajadores que ya presentan síntomas. Su objetivo también es detectar cambios tempranos que permitan intervenir antes de que se produzca daño irreversible. (4)

La prevención requiere conocer qué sustancias están presentes y en qué concentraciones. (2)

El monitoreo ambiental debe considerar los procesos que generan contaminantes, las tareas de mayor exposición, las condiciones de ventilación, la duración de las actividades y las posibles exposiciones accidentales. (2)

Las fichas de datos de seguridad constituyen una fuente esencial de información sobre peligros, propiedades fisicoquímicas, incompatibilidades, almacenamiento, primeros auxilios y medidas de control. (2)

En sustancias con límites de exposición ocupacional establecidos, las mediciones deben compararse con los valores de referencia aplicables a la jurisdicción correspondiente. (2)

Cuando no exista un límite de exposición ocupacional específico, pueden utilizarse estrategias como el control banding como apoyo para la gestión preventiva, sin sustituir la evaluación profesional ni el monitoreo cuando este sea necesario. (2)

Inventario químico: identificar todas las sustancias utilizadas y generadas. (8)

Clasificación del peligro: revisar fichas de datos de seguridad, etiquetado y propiedades toxicológicas. (8)

La tabla 4 organiza programa preventivo propuesto, con indicación del alcance de cada componente y de las fuentes que sustentan su interpretación.

Tabla 4

Programa preventivo propuesto

Nivel	Acción	Comprobación
Fuente	Eliminar o sustituir peligros	Reevaluar riesgos nuevos
Ingeniería	Encerrar y extraer contaminantes	Medición y mantenimiento
Organización	Planificar tareas y formación	Cobertura de contratistas
Protección	Seleccionar y ajustar respiradores	Programa y uso efectivo
Salud	Vigilar y adaptar condiciones	Confidencialidad y seguimiento

Fuente: Propuesta propia basada en (8,26,27,1); no se atribuye eficacia porcentual.

Mapa de exposición: identificar áreas, tareas y trabajadores con mayor potencial de exposición. (8)

Evaluación higiénica: realizar mediciones ambientales cuando sean necesarias. (8)

Jerarquía de controles: eliminar, sustituir, aislar o controlar mediante ingeniería antes de recurrir exclusivamente al EPP. (8)

Programa de protección respiratoria: seleccionar respiradores adecuados, realizar capacitación y asegurar su mantenimiento y correcto ajuste. (8)

Vigilancia de la salud: establecer evaluación respiratoria periódica según los peligros existentes. (8)

Con base en la evidencia revisada, puede proponerse un programa preventivo compuesto por ocho componentes. (8)

8. Mejora continua: revisar periódicamente la eficacia de los controles y modificar las medidas cuando cambien sustancias, procesos, equipos o condiciones de trabajo. (8)

Este modelo permite integrar la higiene industrial, medicina ocupacional, seguridad laboral e ingeniería de procesos. (8)

Howlett y colaboradores analizaron diez cohortes dentro de ocho estudios sobre sílice y silicosis. La reducción modelada de exposición acumulada de 4 a 2 mg/m³-años se asoció con menor riesgo tanto en mineros como en no mineros, con heterogeneidad elevada. El gráfico representa ese contraste epidemiológico y no el efecto observado de una intervención implementada por este artículo. (9)

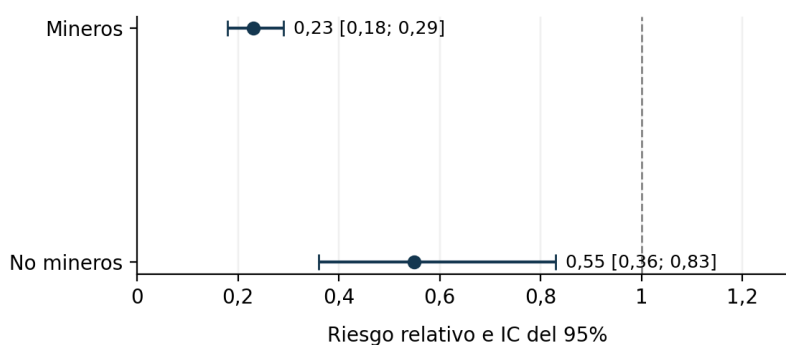
La cohorte sobre exposición de baja intensidad examinó acumulación durante la vida laboral y encontró riesgo persistente en categorías de exposición reducida. Ese resultado recuerda que una concentración media aislada no resume toda la historia; duración, picos y condiciones anteriores importan. La revisión de exposición cuantificada a sílice aporta otra perspectiva y muestra variación entre desenlaces y estudios. (17,28)

La propuesta preventiva articula inventario, caracterización de tareas, evaluación higiénica, control en la fuente y vigilancia. La jerarquía de controles prioriza eliminación, sustitución e ingeniería antes de depender de conducta individual; la protección respiratoria se integra como parte de un programa, con selección y ajuste acordes al contaminante. (8,26,27)

El gráfico 4 presenta contraste de riesgo al reducir exposición acumulada a sílice. Se conserva la unidad y el contexto de los datos para distinguir la descripción publicada de las implicaciones propuestas.

Gráfico 4

Contraste de riesgo al reducir exposición acumulada a sílice



Fuente: elaboración propia. (9): reducción de 4 a 2 mg/m³-años modelada por los autores; no es ensayo de intervención.

La reducción modelada difiere entre sectores y conserva heterogeneidad elevada. No es una promesa de eficacia de un equipo o programa específico; describe un contraste de exposición acumulada derivado de cohortes. La implementación debe comprobar concentraciones reales y duración, además de mantener seguimiento por exposición histórica.

Discusión

La evidencia revisada permite establecer que las exposiciones químicas ocupacionales constituyen un componente relevante de la etiología de diferentes alteraciones respiratorias. Sin embargo, la relación entre exposición y enfermedad no es uniforme.

(1)

Los efectos dependen de la naturaleza del agente. Los isocianatos, por ejemplo, presentan especial importancia como sensibilizantes respiratorios, mientras que la sílice puede generar enfermedades pulmonares relacionadas con exposición acumulativa a partículas respirables. Los COV pueden asociarse con síntomas respiratorios y cambios en la función pulmonar en determinados ambientes industriales, mientras que los plaguicidas se han relacionado con enfermedades obstructivas respiratorias. (1)

Esta heterogeneidad demuestra que no existe una única estrategia preventiva aplicable a todas las industrias. El control debe diseñarse según el proceso, contaminante, concentración, duración y vía de exposición. (1)

Otro aspecto relevante es la interacción entre factores ocupacionales y no ocupacionales. El tabaquismo puede constituir un factor independiente de enfermedad respiratoria y, simultáneamente, coexistir con exposición laboral. Esto obliga a interpretar cuidadosamente los estudios epidemiológicos y evita atribuir todo efecto respiratorio exclusivamente al ambiente laboral. (1)

La literatura también presenta limitaciones. Muchos estudios observacionales utilizan diferentes métodos para evaluar la exposición, existen diferencias en las poblaciones estudiadas y en algunos casos no se dispone de mediciones cuantitativas individuales. Estas diferencias generan heterogeneidad y dificultan la comparación directa entre investigaciones. (1)

En trabajadores de pintura, por ejemplo, el metaanálisis reciente encontró asociaciones importantes entre exposición a COV y síntomas respiratorios, pero también reportó heterogeneidad elevada entre los estudios. Este elemento debe considerarse al interpretar la magnitud del riesgo. (1)

De forma similar, la investigación sobre productos de limpieza ha encontrado asociaciones con asma y EPOC, pero los propios investigadores han señalado la necesidad de mejorar la caracterización cuantitativa de los agentes responsables. (1)

Por ello, una agenda de investigación futura debería priorizar estudios longitudinales con mediciones individuales de exposición, caracterización de mezclas químicas, evaluación de dosis acumulativa, seguimiento espirométrico y análisis de cambios en los procesos productivos. (1)

Desde el punto de vista preventivo, la principal implicación es que la protección respiratoria individual no debería constituir la primera ni única medida. NIOSH y OSHA sitúan la eliminación, sustitución y controles de ingeniería por encima de los controles administrativos y el equipo de protección personal. (1)

La prevención debe orientarse, por tanto, a modificar el proceso productivo para que el trabajador no dependa exclusivamente de su conducta individual para mantenerse protegido. (1)

La evidencia converge en la relevancia de la exposición ocupacional, pero no autoriza una clasificación simplista entre trabajadores expuestos y no expuestos. Las mezclas varían entre tareas y períodos; una categoría ocupacional puede incluir personas con dosis muy distintas. La investigación y la prevención deben aproximarse a la actividad real, incluyendo mantenimiento, limpieza y eventos no rutinarios que pueden concentrar exposición.

El efecto del trabajador sano puede subestimar asociaciones. Personas con síntomas pueden cambiar de empleo o abandonar tareas de mayor exposición, dejando una población activa aparentemente más saludable; los estudios transversales captan esa selección. La historia laboral y los seguimientos ayudan a interpretarla, aunque también requieren controlar pérdidas y cambios de puesto. (15,7)

La medición ambiental debe corresponder a la vía y fracción relevantes. No equivale polvo total a sílice cristalina respirable, ni una muestra ambiental fija a exposición personal durante tareas variables. Los resultados necesitan duración, método, calibración y condiciones de producción; una cifra sin esos elementos puede ser poco útil para decidir controles. (2,3)

La revisión WHO/ILO sobre exposición a polvos y fibras reunió gran cantidad de mediciones, pero encontró variación y sesgos de selección entre sectores. Su alcance muestra la importancia de datos comparables y no justifica asumir que toda industria presenta concentraciones similares. Los inventarios locales deben distinguir sustancias utilizadas de contaminantes generados durante corte, combustión o reacción. (2)

La vigilancia de salud no sustituye la prevención primaria. Detectar deterioro cuando ya existe daño permite intervenir, pero no controla la fuente; la ausencia de síntomas tampoco demuestra seguridad. Un programa que realiza espirometrías sin corregir ventilación, procesos abiertos o prácticas de limpieza puede documentar el problema sin modificar su causa organizativa.

La espirometría requiere aceptabilidad y repetibilidad. Diferencias por esfuerzo, equipo o técnica pueden simular cambio longitudinal; la interpretación debe considerar calidad, valores de referencia y contexto clínico. Los estándares técnicos de realización e interpretación permiten reducir errores, sin transformar el examen aislado en diagnóstico etiológico de enfermedad ocupacional. (4,5)

El asma relacionada con trabajo exige diferenciar enfermedad causada por exposición de exacerbación de asma previa. La relación temporal de síntomas es orientadora, pero puede debilitarse en enfermedad persistente; las investigaciones especializadas deben integrar historia y pruebas pertinentes. La intervención sobre exposición debe evitar demoras que prolonguen daño, sin depender únicamente de que una persona perciba mejoría durante fines de semana. (10,13)

La retirada o reducción de exposición plantea además consecuencias laborales. La síntesis Cochrane actualizada describe resultados clínicos y riesgos socioeconómicos, mientras que la revisión de desenlaces ocupacionales examina factores asociados a continuidad laboral. La prevención debe coordinar protección de salud, adaptación y apoyo, evitando que detectar una enfermedad conduzca automáticamente a pérdida de ingresos sin alternativas. (23,29)

La protección respiratoria necesita selección para el agente y condiciones. Un filtro para partículas no resuelve exposición a gases o vapores, y un respirador depende de ajuste y mantenimiento; la disponibilidad de equipos no acredita protección efectiva. Los recursos de NIOSH organizan selección y programa, pero la decisión técnica local debe considerar atmósfera, tarea y capacidad real de uso. (26)

La sustitución tampoco es automáticamente segura. Un producto alternativo puede reducir un peligro e introducir otro; deben revisarse composición, uso y contaminantes generados. La evaluación posterior a cambios de proceso es parte del control, especialmente cuando nuevos materiales se introducen sin información suficiente o se utilizan fuera de condiciones previstas.

El tabaquismo requiere intervención sin desplazar responsabilidad empresarial. La cohorte de trabajadores con silicosis encontró beneficio asociado a cesación sobre obstrucción, pero abandonar tabaco no elimina exposición mineral ni sus efectos. La

prevención combinada puede aportar beneficios, mientras que atribuir el daño exclusivamente al hábito individual deja sin tratar una fuente ocupacional. (30,6)

Las investigaciones en fábricas etíopes y minería artesanal muestran condiciones donde recursos y vigilancia son limitados. Sus estimaciones no se trasladan a Ecuador, pero permiten identificar barreras como capacitación, jornadas y control de polvo; la propuesta local debe examinar viabilidad de soluciones técnicas y continuidad de mantenimiento. El menor coste inicial de una medida no garantiza menor coste total si su protección es insuficiente. (31,32)

La sílice ilustra la importancia de exposición acumulada y latencia. La reducción de concentraciones actuales es necesaria, aunque no borra dosis pasadas; trabajadores retirados o transferidos pueden requerir seguimiento según riesgo. La comparación entre minería y otras industrias demuestra heterogeneidad que debe conservarse al comunicar beneficios esperados de control. (9,17,22)

El programa propuesto necesita indicadores de proceso y resultado. Inventario actualizado, mantenimiento y corrección de desviaciones reflejan implementación; mediciones repetidas informan exposición; síntomas y función describen salud. Una reducción de enfermedad puede tardar, por lo que la evaluación no debe esperar únicamente diagnósticos finales para reconocer fallos de control o necesidad de corrección.

Las limitaciones incluyen selección narrativa, heterogeneidad de agentes y ausencia de mediciones propias. Las revisiones pueden compartir estudios y sus asociaciones no se sumaron como evidencia independiente; tampoco se establecieron límites legales ecuatorianos ni una frecuencia universal de vigilancia. El aporte es conectar evidencia epidemiológica, calidad de medición y decisiones de control en una matriz aplicable con evaluación local.

Conclusiones

La exposición ocupacional a sustancias químicas peligrosas constituye un factor relevante en la aparición de alteraciones respiratorias entre trabajadores industriales. La evidencia científica demuestra asociaciones entre diferentes exposiciones ocupacionales y asma, síntomas respiratorios, disminución de la función pulmonar, EPOC, bronquitis crónica, silicosis y otras enfermedades respiratorias. (1)

Los riesgos dependen de múltiples variables, entre ellas la naturaleza del agente químico, concentración ambiental, duración y frecuencia de exposición, características fisicoquímicas, ventilación, organización del trabajo y susceptibilidad individual. (1)

La exposición a sílice, isocianatos, productos de limpieza, plaguicidas, COV, vapores, gases, polvos y humos representa situaciones que requieren evaluación específica. No obstante, la existencia de diferentes agentes implica que las estrategias preventivas deben diseñarse según las características de cada proceso. (1)

La prevención debe fundamentarse en la jerarquía de controles. La eliminación y sustitución deben considerarse inicialmente, seguidas por controles de ingeniería, administrativos y, finalmente, equipos de protección personal cuando sean necesarios. (1)

La vigilancia de la salud respiratoria, el monitoreo ambiental y la capacitación permanente permiten identificar tempranamente condiciones de riesgo y posibles alteraciones respiratorias. (1)

Finalmente, la gestión de sustancias químicas peligrosas debe integrarse al sistema general de seguridad y salud en el trabajo. Un programa preventivo eficaz no debe limitarse a proporcionar respiradores, sino que debe intervenir sobre la fuente del contaminante, el proceso productivo y las condiciones ambientales. La reducción

sostenida de la exposición constituye la estrategia central para disminuir la carga de enfermedad respiratoria relacionada con el trabajo. (1)

La exposición industrial a sustancias y mezclas peligrosas se asocia con diversos desenlaces respiratorios, cuya evaluación exige identificar agente, tarea y acumulación. La prevención debe actuar sobre la fuente y complementar controles con vigilancia técnicamente válida y protección laboral. La propuesta evita reducir la gestión al uso de respiradores o a exámenes periódicos, y exige comprobar que las medidas disminuyan exposición real.

Referencias bibliográficas

1. Blanc PD, Annesi-Maesano I, Balmes JR, Cummings KJ, Fishwick D, Miedinger D, et al. The Occupational Burden of Nonmalignant Respiratory Diseases. An Official American Thoracic Society and European Respiratory Society Statement. *American journal of respiratory and critical care medicine*. 2019;199(11):1312-1334. <https://doi.org/10.1164/rccm.201904-0717st>
2. Schlünssen V, Mandrioli D, Pega F, Momen NC, Adam B, Chen W, et al. The prevalences and levels of occupational exposure to dusts and/or fibres (silica, asbestos and coal): A systematic review and meta-analysis from the WHO/ILO Joint Estimates of the Work-related Burden of Disease and Injury. *Environment international*. 2023;178:107980. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.107980>
3. Bello D, Woskie SR, Streicher RP, Liu Y, Stowe MH, Eisen EA, et al. Polyisocyanates in occupational environments: a critical review of exposure limits and metrics. *American journal of industrial medicine*. 2004;46(5):480-491. <https://doi.org/10.1002/ajim.20076>
4. Graham BL, Steenbruggen I, Miller MR, Barjaktarevic IZ, Cooper BG, Hall GL, et al. Standardization of Spirometry 2019 Update. An Official American Thoracic

- Society and European Respiratory Society Technical Statement. American journal of respiratory and critical care medicine. 2019;200(8):e70-e88. <https://doi.org/10.1164/rccm.201908-1590st>
5. Stanojevic S, Kaminsky DA, Miller MR, Thompson B, Aliverti A, Barjaktarevic I, et al. ERS/ATS technical standard on interpretive strategies for routine lung function tests. The European respiratory journal. 2022;60(1):2101499. <https://doi.org/10.1183/13993003.01499-2021>
 6. Hnizdo E, Vallyathan V. Chronic obstructive pulmonary disease due to occupational exposure to silica dust: a review of epidemiological and pathological evidence. Occupational and environmental medicine. 2003;60(4):237-243. <https://doi.org/10.1136/oem.60.4.237>
 7. Sritharan J, Arrandale VH, Kirkham TL, Dakouo M, MacLeod JS, Demers PA. Risk of chronic obstructive pulmonary disease in a large cohort of Ontario, Canada workers. Scientific reports. 2024;14(1):8756. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59429-1>
 8. National Institute for Occupational Safety and Health. Hierarchy of controls. 2024. <https://www.cdc.gov/niosh/hierarchy-of-controls/about/index.html>
 9. Howlett P, Gan J, Lesosky M, Feary J. Relationship between cumulative silica exposure and silicosis: a systematic review and dose-response meta-analysis. Thorax. 2024;79(10):934-942. <https://doi.org/10.1136/thorax-2024-221447>
 10. Coureau E, Fontana L, Lamouroux C, Péliissier C, Charbotel B. Is Isocyanate Exposure and Occupational Asthma Still a Major Occupational Health Concern? Systematic Literature Review. International journal of environmental research and public health. 2021;18(24):13181. <https://doi.org/10.3390/ijerph182413181>

11. Daniels RD. Occupational asthma risk from exposures to toluene diisocyanate: A review and risk assessment. *American journal of industrial medicine*. 2018;61(4):282-292. <https://doi.org/10.1002/ajim.22815>
12. Archangelidi O, Sathiyajit S, Consonni D, Jarvis D, De Matteis S. Cleaning products and respiratory health outcomes in occupational cleaners: a systematic review and meta-analysis. *Occupational and environmental medicine*. 2021;78(8):604-617. <https://doi.org/10.1136/oemed-2020-106776>
13. Siracusa A, De Blay F, Folletti I, Moscato G, Olivieri M, Quirce S, et al. Asthma and exposure to cleaning products - a European Academy of Allergy and Clinical Immunology task force consensus statement. *Allergy*. 2013;68(12):1532-1545. <https://doi.org/10.1111/all.12279>
14. Sekhar L, Govindarajan Venguidesvarane A, Thiruvengadam G, Sharma Y, Venugopal V, Rengarajan S, et al. Respiratory symptoms and pulmonary function in paint industry workers exposed to volatile organic compounds: A systematic review and meta-analysis. *PloS one*. 2024;19(12):e0315464. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0315464>
15. Sit G, Orsi L, Iwatsubo Y, Dananché B, Orsi F, Goldberg M, et al. Chronic occupational exposures to irritants and asthma in the CONSTANCES cohort. *Occupational and environmental medicine*. 2024;81(3):129-135. <https://doi.org/10.1136/oemed-2023-109100>
16. Dalbøge A, Kolstad HA, Jahn A, Ulrik CS, Sherson DL, Meyer HW, et al. A systematic review of the relation between ten potential occupational sensitizing exposures and asthma. *Scandinavian journal of work, environment & health*. 2025;51(3):146-158. <https://doi.org/10.5271/sjweh.4214>

17. Wang D, Li W, Zhou M, Ma J, Guo Y, Chen W. Long-term exposure to low-level crystalline silica and risk assessment of silicosis: a cohort study. *Thorax*. 2025;80(7):451-456. <https://doi.org/10.1136/thorax-2024-222660>
18. Pourhassan B, Meysamie A, Alizadeh S, Habibian A, Beigzadeh Z. Risk of obstructive pulmonary diseases and occupational exposure to pesticides: a systematic review and meta-analysis. *Public health*. 2019;174:31-41. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2019.05.024>
19. Ryu JY, Sunwoo YE, Lee SY, Lee CK, Kim JH, Lee JT, et al. Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) and Vapors, Gases, Dusts, or Fumes (VGDF): A Meta-analysis. *COPD*. 2015;12(4):374-380. <https://doi.org/10.3109/15412555.2014.949000>
20. Quintero-Santofimio V, Ma J, Potts J, Kromhout H, Feary J, Janson C, et al. Association of respiratory health with occupational exposures in the Burden of Obstructive Lung Disease (BOLD) cohort: a multinational longitudinal study. *BMJ open respiratory research*. 2026;13(1):e004213. <https://doi.org/10.1136/bmjresp-2026-004213>
21. Howard SC, Rocconi L, Odoi A. Burden and predictors of chronic obstructive pulmonary disease occurrence and severity among an occupational cohort of United States Department of Energy former workers. *PloS one*. 2025;20(5):e0322815. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0322815>
22. Birk T, Mundt KA, Crawford L, Driesel P. Results of 15 years of extended follow-up of the German porcelain workers cohort study: lung cancer and silicosis. *Frontiers in public health*. 2025;13:1552687. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1552687>
23. Henneberger PK, Patel JR, de Groene GJ, Beach J, Tarlo SM, Pal TM, et al. The effectiveness of removal from exposure and reduction of exposure for managing

- occupational asthma: Summary of an updated Cochrane systematic review. American journal of industrial medicine. 2021;64(3):165-169. <https://doi.org/10.1002/ajim.23208>
24. Tomic D, Hoy RF, Abramson MJ, Glass DC, Barnes H, Alamdari M, et al. Respiratory symptoms, airflow obstruction and asthma in a cohort of workers from the stone benchtop industry. Occupational and environmental medicine. 2025;82(6):278-284. <https://doi.org/10.1136/oemed-2025-110161>
25. Md Zamri ASS, Saruddin MZ, Harun A, Abd Aziz SF, Aizad Za'bah AK, Dapari R, et al. Factors associated with occupational asthma among food industry workers: A systematic review. PloS one. 2023;18(6):e0287040. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0287040>
26. National Institute for Occupational Safety and Health. Respirator selection and use. 2025. <https://www.cdc.gov/niosh/ppe/respirators/selection.html>
27. National Institute for Occupational Safety and Health. Preventing work-related asthma. 2024. <https://www.cdc.gov/niosh/asthma/prevention/index.html>
28. Mundt KA, Thompson WJ, Dhawan G, Checkoway H, Boffetta P. Systematic review of the epidemiological evidence of associations between quantified occupational exposure to respirable crystalline silica and the risk of silicosis and lung cancer. Frontiers in public health. 2025;13:1554006. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1554006>
29. Damerau LS, Helm MW, Pieter J, Velasco Garrido M, Harth V, Hoven H, et al. Adverse occupational outcome among workers with occupational asthma: A systematic review and meta-analysis of influencing factors. Scandinavian journal of work, environment & health. 2026;52(4):349-359. <https://doi.org/10.5271/sjweh.4282>

30. Yang S, Chan CK, Wang MH, Leung CC, Tai LB, Tse LA. Association of smoking cessation with airflow obstruction in workers with silicosis: A cohort study. *PloS one*. 2024;19(5):e0303743. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0303743>
31. Ashuro Z, Hareru HE, Soboksa NE, Abaya SW, Zele YT. Occupational exposure to dust and respiratory symptoms among Ethiopian factory workers: A systematic review and meta-analysis. *PloS one*. 2023;18(7):e0284551. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0284551>
32. Howlett P, Mousa H, Said B, Mbuya A, Kon OM, Mpagama S, et al. Silicosis, tuberculosis and silica exposure among artisanal and small-scale miners: A systematic review and modelling paper. *PLOS global public health*. 2023;3(9):e0002085. <https://doi.org/10.1371/journal.pgph.0002085>