



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

“NEUMOCONIOSIS Y ENFERMEDADES
PLEURALES BENIGNAS POR POLVO
INORGÁNICO”

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA
OPTAR EL GRADO DE MAESTRO EN
MEDICINA OCUPACIONAL Y DEL MEDIO
AMBIENTE

CARLOS RODOLFO CASAS CAVERO

LIMA – PERÚ

2025

ASESOR

Mg. Jesús Arturo Santiani Acosta

JURADO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

MG. GLADYS BERNUY MORENO

PRESIDENTE

MG. MIRKO ROGERS PEZOA VILLANUEVA

VOCAL

MG. HENRY ALEXANDER CUEVA VASQUEZ

SECRETARIO (A)

DEDICATORIA.

A mi familia, por su amor, apoyo incondicional y por ser mi mayor fuente de inspiración.

A los trabajadores, cuya dedicación y esfuerzo me motivan a contribuir a la mejora de su salud y bienestar.

AGRADECIMIENTOS.

A los doctores Claudio Taboadela y Jhon Astete, pilares en mi formación, por su guía, enseñanzas y el compromiso con mi desarrollo profesional.

A los gerentes y jefes de mi trabajo actual, por su confianza, apoyo y el espacio brindado para mi crecimiento profesional.

A mis colegas y amigos, por compartir sus conocimientos y alentarme en cada desafío.

A todas las personas e instituciones que colaboraron en la realización de esta investigación, mi más sincero agradecimiento.

FUENTES DE FINANCIAMIENTO.

Trabajo de Autofinanciado

DECLARACIÓN DE AUTOR			
FECHA	27	ENERO	2025
APELLIDOS Y NOMBRES DEL EGRESADO	CARLOS RODOLFO CASAS CAVERO		
PROGRAMA DE POSGRADO	MAESTRÍA EN MEDICINA OCUPACIONAL Y DEL MEDIO AMBIENTE		
AÑO DE INICIO DE LOS ESTUDIOS	2022		
TITULO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN DE GRADO	“NEUMOCONIOSIS Y ENFERMEDADES PLEURALES BENIGNAS POR POLVO INORGÁNICO”		
MODALIDAD DE TRABAJO DE GRADO	Portafolio		
Declaración del Autor El presente Trabajo de Grado es original y no es el resultado de un trabajo en colaboración con otros, excepto cuando así está citado explícitamente en el texto. No ha sido ni enviado ni sometido a evaluación para la obtención de otro grado o diploma que no sea el presente.			
Teléfono de contacto (fijo / móvil)	918013087		
E-mail	carlos.casas.cavero@upch.pe		

Firma del Egresado
DNI 44312234

ev.turnitin.com/app/carta/es/?o=2701110004&u=1082125592&ro=103&iang=es&s=1

turnitin

1 de 328: CARLOS RODOLFO CASAS CAVERO
NEUMOCONIOSIS Y ENFERMEDADES PLEURALES BENIGNAS POR POLVO...

Similitud 12% Marcas de alerta



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

“NEUMOCONIOSIS Y ENFERMEDADES
PLEURALES BENIGNAS POR POLVO
INORGÁNICO”

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA
OPTAR EL GRADO DE MAESTRO EN
MEDICINA OCUPACIONAL Y DEL MEDIO
AMBIENTE

CARLOS RODOLFO CASAS CAVERO

LIMA – PERÚ

2025

Descargando...

Página 1 de 130 25556 palabras 90%

Informe estándar

Informe en inglés no disponible Más información

12% Similitud estándar Filtros

7 Exclusiones

Mostrar las fuentes solapadas

1 Internet

www.aeemt.com <1%

6 bloques de texto 79 palabra que coinciden

2 Internet

www.coursehero.com <1%

6 bloques de texto 78 palabra que coinciden

3 Trabajos del estudiante

Universidad Politécnica Estatal de... <1%

1 bloques de bloques 76 palabra que coinciden

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN
ABSTRACT

INTRODUCCIÓN	11
I. 3	
1.1 Generalidades, epidemiología y factores de riesgo para el desarrollo ocupacional de neumoconiosis y enfermedades pleurales por polvos inorgánicos.	
13	
1.1.1 Definición	14
1.1.2 Epidemiología	15
1.1.3 Clasificación de Neumoconiosis	16
1.1.4 Clasificación de enfermedades pleurales benignas	20
1.1.5 Mecanismo fisiopatológico	21
1.1.6 Factores de riesgo ocupacionales	26
1.2 Evaluación, diagnóstico y normativas	32
1.2.1 Silicosis	39
1.2.2 Asbestosis	48
1.2.3 Neumoconiosis de los mineros del carbón	53
1.2.4 Beriliosis	58

1.2.5 Siderosis	60
1.2.6 Talcosis	63
1.2.7 Estañosis	65
1.3 Protocolos y Programas de Salud Ocupacional para la Prevención de la Neumoconiosis y Enfermedades Pleurales	70
1.3.1 Protocolos de Prevención	71
1.3.2 Programas de Salud Ocupacional	78
II.	104
III.	106
IV.	107

RESUMEN

Las neumoconiosis y afecciones pleurales benignas provocadas por el contacto con polvo inorgánico son prevenibles y surgen principalmente a causa de la inhalación de partículas como el polvo de carbón o varios tipos de polvo mineral. Ante esta problemática, se realizó una revisión narrativa donde se sintetizó estudios previos sobre la exposición a polvo inorgánico y su relación con el desarrollo de neumoconiosis y enfermedades pleurales benignas, con el fin de identificar factores de riesgo, prevalencia y tendencias en la incidencia de estas patologías. Se incluirán estudios publicados entre 2020 y 2025, en inglés y español, que aborden enfermedades respiratorias ocupacionales, como neumoconiosis, asbestosis, silicosis y patologías pleurales benignas. Se utilizarán bases de datos como PUBMED, COCHRANE y SCIELO, mediante aplicación de operadores booleanos (AND, OR, NOT) y términos MeSH relacionados con las enfermedades respiratorias ocupacionales. Asimismo, se empleará la metodología PRISMA para garantizar la transparencia en la revisión de la evidencia. Finalmente se utilizará análisis estadísticos descriptivos para calcular la prevalencia de enfermedades respiratorias ocupacionales en los distintos sectores, así como la efectividad de las medidas de prevención implementadas.

PALABRAS CLAVES

- Neumoconiosis
- Enfermedades pleurales benignas
- Exposición ocupacional al polvo inorgánico
- Polvo inorgánico
- Salud ocupacional

ABSTRACT

Pneumoconiosis and benign pleural conditions caused by exposure to inorganic dust are preventable and primarily arise due to the inhalation of particles such as coal dust or various types of mineral dust. In response to this issue, a systematic review and qualitative analysis will be conducted to synthesise previous studies on inorganic dust exposure and its association with the development of pneumoconiosis and benign pleural diseases. The aim is to identify risk factors, prevalence, and trends in the incidence of these conditions. Studies published between 2020 and 2025, in English and Spanish, that address occupational respiratory diseases such as pneumoconiosis, asbestosis, silicosis, and benign pleural conditions will be included. Databases such as PUBMED, COCHRANE, and SCIELO will be used, applying Boolean operators (AND, OR, NOT) and MeSH terms related to occupational respiratory diseases. Additionally, the PRISMA methodology will be employed to ensure transparency in the evidence review. Finally, descriptive statistical analyses will be conducted to estimate the prevalence of occupational respiratory diseases across various sectors, as well as the effectiveness of implemented prevention measures.

KEY WORDS

- Pneumoconiosis
- Benign pleural diseases
- Occupational exposure to inorganic dust
- Inorganic dust
- Occupational health

INTRODUCCIÓN

Las afecciones respiratorias ocupacionales, en particular las neumoconiosis y las patologías pleurales benignas provocadas por la exposición a polvo inorgánico, siguen siendo un tema de gran relevancia en el ámbito de la salud ocupacional. Las neumoconiosis, que incluyen enfermedades como la silicosis y la asbestosis, son afecciones pulmonares prevenibles causadas por la inhalación de partículas de polvo (1). Entre 1999 y 2018, las muertes por neumoconiosis disminuyeron un 40.4%, según datos del CDC, aunque algunos tipos específicos siguen mostrando altas tasas de mortalidad, especialmente entre los trabajadores expuestos a niveles elevados de polvo sin protección adecuada. En particular, las muertes por silicosis afectan principalmente a empleados en la minería y la construcción (2).

El asbesto, utilizado industrialmente durante varias décadas, también ha sido responsable de una serie de enfermedades respiratorias graves, como la asbestosis y el mesotelioma. Aunque su uso ha sido prohibido en muchos países desde la década de 1990, la exposición sigue siendo un riesgo importante a nivel mundial, afectando a millones de trabajadores (3,4). La silicosis, por su parte, resulta de la exposición a sílice cristalina, y aunque su prevalencia ha disminuido en países de altos ingresos gracias a medidas preventivas, el uso de materiales como el aglomerado de cuarzo ha generado nuevos riesgos para los trabajadores (5).

Adicionalmente, otras patologías respiratorias ocupacionales, como la beriliosis, también surgen debido a la exposición a polvo industrial, lo que resalta la importancia de mejorar la vigilancia y los programas de prevención en los entornos laborales (6,7). Las investigaciones sobre la exposición al polvo de carbón en las minas también destacan la alta incidencia de neumoconiosis entre los trabajadores de la minería, especialmente en América Latina, donde el contenido mineral del carbón incrementa el riesgo de enfermedades pulmonares (8).

Este estudio tiene como objetivo revisar la prevalencia y los riesgos asociados con las neumoconiosis y las enfermedades pleurales benignas en los entornos laborales, así como las estrategias preventivas más efectivas. A través de esta revisión narrativa, se busca proporcionar una base sólida para mejorar las políticas de salud laboral y optimizar las estrategias de prevención y tratamiento de estas enfermedades en los sectores más vulnerables, como la minería, la construcción y la manufactura.

I. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Generalidades, epidemiología y factores de riesgo para el desarrollo ocupacional de neumoconiosis y enfermedades pleurales por polvos inorgánicos.

La presencia de polvo en los ambientes laborales es una problemática que impacta a numerosos trabajadores en una gran variedad de sectores, como la minería, la fundición, las canteras, la industria textil, las panaderías y la agricultura. El polvo se define como la dispersión de partículas sólidas en el aire, cuando estas tienen una longitud mayor que su ancho, se conoce como fibras.

En términos generales, la inhalación de estas partículas puede provocar irritación del sistema respiratorio, además, ciertos tipos de polvo están asociados con enfermedades específicas. Por otro lado, algunos tipos de polvo no solo suponen un riesgo para la salud, sino que también pueden ser peligrosos en términos de seguridad, ya que en ambientes confinados tienen la capacidad de generar explosiones. Este es el caso del polvo de carbón, caucho y aluminio, entre otros.

La neumoconiosis y las enfermedades pleurales son patologías respiratorias crónicas causadas por la prolongada exposición a partículas minerales en el trabajo, como el polvo de sílice y el asbesto. Estas enfermedades afectan principalmente a mineros, constructores o manufactureros, sectores donde la exposición a polvos respirables es frecuente. La inhalación de estas partículas puede desencadenar una respuesta inflamatoria progresiva en los pulmones, lo que con el tiempo puede provocar fibrosis pulmonar y disfunción respiratoria irreversible.

La neumoconiosis continúa siendo un asunto relevante en el siglo XXI. Pese a los progresos en las leyes laborales y en la salvaguarda de los empleados, aún persisten problemas en la protección de los trabajadores. A pesar de que se han establecido acciones de control y prevención en numerosas industrias, aún existen empleados expuestos a agentes perjudiciales que desarrollan afecciones respiratorias severas. Pese a los intentos de optimizar las condiciones de trabajo y reducir la exposición a estos agentes, es vital continuar con la implementación de prácticas de prevención y con la sensibilización acerca de los peligros vinculados con la exposición a compuestos neumoconiogénos. Únicamente mediante una acción coordinada a escala global podemos disminuir la prevalencia de estas enfermedades y salvaguardar la salud de los empleados en todas las industrias (9,10).

1.1.1 Definición

Neumoconiosis

Las neumoconiosis son una serie de afecciones del sistema respiratorio provocadas por exposición a elementos inorgánicos en el ambiente de trabajo. Estos elementos pueden influir en diversas áreas del sistema respiratorio, tales como el intersticio pulmonar, la pleura y los ganglios linfáticos del tórax. Se caracterizan por la generación de colágeno en los tejidos del pulmón como reacción al depósito parenquimatoso de polvo inorgánico cuyo carácter puede fluctuar, produciendo un impacto permanente en el intersticio de los pulmones. Generalmente, se asocian con extensos períodos de latencia, cuya duración puede variar desde unos pocos meses hasta varias décadas. (11).

Dependiendo del agente causante, se les otorga una denominación particular y exclusiva. Las previamente citadas afecciones respiratorias siguen presentes entre las neumopatías laborales más comunes y siguen siendo responsables de significativas cantidades de morbi- mortalidad (11).

Enfermedades pleurales benignas por polvo inorgánico

Son un grupo de alteraciones no malignas de la pleura provocadas por la inhalación y acumulación de partículas inorgánicas en los pulmones, generando inflamación y cambios fibróticos en la pleura. Estas enfermedades incluyen derrame pleural, placas pleurales, engrosamiento pleural difuso y asbestosis pleural. Se asocian principalmente con la exposición a asbestos, sílice y otros polvos minerales en entornos laborales (12). Aunque el asbestos es el principal agente causal de las enfermedades pleurales benignas, otros polvos inorgánicos como la sílice, el talco, el berilio y ciertos metales también pueden inducir alteraciones pleurales. La severidad y el tipo de afectación pleural varían según la naturaleza del polvo y la duración de la exposición.

1.1.2 Epidemiología

La prevalencia mundial de neumoconiosis y otras afecciones respiratorias crónicas ocupacionales se sitúa en 453.000 y 2.631.000 casos anuales, respectivamente. Por ejemplo, durante el año 2000 se registraron a nivel mundial 14.000 fallecimientos

debido a neumoconiosis por carbón, 9.000 debido a silicosis y 7.000 debido a asbestosis (13).

Por otro lado, en el estudio titulado “Carga Global de Enfermedades”, en 2021 se registraron 62,866 nuevos casos de neumoconiosis, de los cuales 35,482 correspondieron a silicosis y 10,520 a asbestosis. La prevalencia total alcanzó los 396,608 trabajadores afectados, con un 59.0% de casos de silicosis y un 15.5% de asbestosis. A pesar de las regulaciones y medidas preventivas implementadas en países desarrollados, tanto la incidencia como la prevalencia de la enfermedad continúan en aumento a nivel global (14).

Entre 1990 y 1999, en Estados Unidos, la neumoconiosis causó más de 30.000 muertes, con una tasa de mortalidad ajustada por edad de 13,2 por millón. Un estudio en México (1994-2004) identificó 14.827 casos de neumoconiosis en empleados del Instituto Mexicano de Seguridad Social, donde 14.262 presentaban incapacidad permanente. Los trabajadores más impactados fueron los mineros, transportistas y empleados de la construcción. Según la OIT, entre el 30% y el 50% de los empleados expuestos a altas concentraciones de polvo pueden desarrollar enfermedades laborales. En Argentina, datos de la SRT indican que entre abril de 2015 y marzo de 2017 se registraron 1.502 enfermedades respiratorias, de las cuales 34 (2,3%) fueron neumoconiosis (11).

En Brasil se realizó un estudio que analizó la distribución tanto temporal como espacial de los índices de mortalidad (1979-2019) y de hospitalizaciones (1995-2019) debido a neumoconiosis. Se encontró que los ingresos hospitalarios debido a neumoconiosis se redujeron en todas las zonas de Brasil. Se registraron

principalmente en hombres de más de 40 años. Las cifras de mortalidad evidenciaron un incremento momentáneo en todas las áreas. Las defunciones se registraron principalmente en hombres de más de 50 años. Se observaron los índices más elevados de hospitalización y mortalidad en los estados de las zonas Centro-Oeste y Sur (15).

A nivel mundial, se estima que 23 millones de trabajadores en China, 11,5 millones en India, 3,2 millones en la Unión Europea y 2 millones en Brasil están en riesgo constante debido a la exposición a la sílice. Asimismo, industrias en crecimiento como la producción de piedra artificial, incluyendo los aglomerados de cuarzo, así como actividades recreativas como la cerámica, también contribuyen al desarrollo de enfermedades relacionadas con esta sustancia (16).

A pesar de una administración rigurosa de la industria del amianto, se reporta que cerca de 3400 individuos continuaron falleciendo de asbestosis a nivel global en 2017. Además, los datos más recientes del Programa de Revisión del Amianto de Australia Occidental señalaron que un cuarto de los individuos expuestos al amianto (un total de 906 individuos) presentaron pruebas de tomografía computarizada de asbestosis (17). En Italia, en el periodo de 2001 a 2018, se determinó que los gastos de hospitalización anuales para la asbestosis ascendieron a 3.787.540 euros y a 10.103.215 euros para la silicosis. El tiempo y el precio de la estancia en el hospital por ingreso se incrementaron considerablemente con el paso del tiempo en el caso de la asbestosis (18).

El número de trabajadores expuestos al berilio ha experimentado un aumento considerable en las últimas décadas. En Estados Unidos, por ejemplo, la cifra pasó de 30,000 en 1970 a 200,000 en un periodo de solo 30 años. Estudios transversales realizados en diversas industrias han reportado prevalencias de beriliosis que oscilan entre 0% y 7.8%. Sin embargo, el número de casos diagnosticados sigue siendo bajo, probablemente debido a la confusión con sarcoidosis, lo que lleva a diagnósticos erróneos (19).

1.1.3 Clasificación de Neumoconiosis

Silicosis:

El silicio es el mineral más abundante en la corteza terrestre y su mayoría se combina con oxígeno, generando óxidos de silicio y silicatos. Dentro de sus variedades, el cuarzo es el más común, presente en rocas importadas en diversas proporciones, siendo la arenisca un 100% de cuarzo; la pizarra, más del 40%; y el granito, un 30%. Respecto a la arcilla, como materia prima, se compone principalmente compuestos por alúmina de sílice, agua y diversas cantidades de óxidos de hierro, calcio, magnesio y otros materiales alcalinos, estos elementos forman los silicatos. La arena de granallado es un producto de sílice de aluminio hecho de escoria de fundición de vidrio, que se lava, se seca y se clasifica, generando escaso polvo y siendo químicamente neutro (20–22).

El peligro de padecer silicosis está vinculado con la cantidad de sílice que se inhala durante la jornada de trabajo. Hay múltiples fuentes de exposición laboral a la sílice inhalada, dado que su polvo se encuentra en una amplia gama de industrias.

Numerosos puestos de trabajo exigen que los empleados trituren, corten, taladren, tallen o muelan elementos que emiten al entorno aerosoles que contienen partículas de sílice (23,24).

La forma crónica de silicosis es la más común y está vinculada a diversas clases de trabajos, como la perforación de pozos y la labor en canteras. En la actualidad, se reportan otras ocupaciones que pueden provocar formas más rápidas de la enfermedad en periodos de exposición más cortos, reactivando brotes alarmantes en adultos en edad de trabajar (25).

Existen 3 tipos de silicosis (20,26,27):

- ✓ Silicosis crónica simple: Por exposición superior a 20 años a cantidades reducidas de polvo de cuarzo, a veces incluso tras el término de la exposición.
- ✓ Silicosis aguda: Por exposición a sílice libre de forma prolongada. Condición clínica de rápida progresión. La silicoproteinosis aguda es una condición poco común que sucede tras inhalar grandes cantidades de sílice, tal como sucede durante la edificación de túneles y el pulido con arena.
- ✓ Silicosis acelerada: Presenta clínica dudosa, que sucede tras una exposición a grandes volúmenes de sílice durante un periodo más breve (5-15 años).

Asbestosis:

La asbestosis se define como una fibrosis intersticial difusa del pulmón causada por la exposición al polvo de asbesto. Usualmente, se asocia a niveles de exposición relativamente altos. No obstante, es importante destacar que puede surgir una

fibrosis leve en niveles de exposición más bajos y que puede aparecer una fibrosis detectable histológicamente en circunstancias donde no se satisfacen los criterios radiológicos. A pesar de que la utilización del amianto ha sido prohibida en diversas regiones (28).

El sello característico de la exposición al amianto son los cuerpos de amianto. Considerando que hay múltiples causas de patología pulmonar intersticial, los cuerpos de amianto ofrecen la especificidad requerida para el diagnóstico patológico de la asbestosis. A pesar de que la asbestosis suele enfocarse en las vías respiratorias, hay otros trastornos que siguen este modelo; por tal motivo los cuerpos de amianto ofrecen la especificidad requerida (29).

La "Resolución de la OIT sobre el amianto de 2006" sostiene que todos los tipos de amianto, incluyendo el crisotilo, son reconocidos como carcinógenos humanos y que la eliminación del uso futuro del amianto y la identificación y gestión adecuada del mismo. que se está utilizando actualmente son los métodos más efectivos para salvaguardar a los empleados. El amianto es el principal factor de cáncer asociado al trabajo y a los procesos laborales, incluyendo el amianto, que impacta de manera indirecta a los familiares de los empleados del amianto y al ambiente donde se encuentra el amianto y los productos relacionados (30).

Neumoconiosis de mineros del carbón:

También llamada “Antracosis”, engloba afecciones respiratorias derivadas de la inhalación de polvo de carbón durante largos periodos de trabajo en la extracción de este mineral. Afecta especialmente a personas que trabajaron bajo tierra durante

periodos prolongados, incluso con exposiciones bajas. En las minas, el polvo de carbón y sus partículas pueden permanecer suspendidos en el aire en un rango del 40% al 95%, lo que puede desencadenar una enfermedad pulmonar ocupacional irreversible (31).

Beriliosis:

El **berilio** es un metal estructural ligero con alta maleabilidad y capacidad para disipar calor, lo que lo hace ideal para su uso en aleaciones y cerámicas en diversas industrias: aeroespacial, automotriz, armamento, medicina aeroespacial, automovilística, medicina y electrónica, hasta el punto de que prácticamente todos los dispositivos electrónicos móviles poseen este material. La exposición al berilio puede generar distintos efectos en la salud, desde sensibilización sin síntomas hasta enfermedades pulmonares. Dependiendo del nivel de exposición, puede evolucionar a una forma aguda o crónica (19,32):

- ✓ La beriliosis aguda es una neumonitis linfocítica causada por la inhalación masiva de formas solubles del metal. Aunque puede tener un pronóstico grave, su incidencia ha disminuido debido a las medidas de control actuales.
- ✓ Por otro lado, la beriliosis crónica es una enfermedad inmunológica derivada de una reacción de hipersensibilidad retardada (tipo IV) en personas genéticamente susceptibles. Se caracteriza por exposición ambiental reducida, la ausencia de correlación entre la concentración del metal y la gravedad de la enfermedad, así como la presencia de una reacción cutánea tardía.

Siderosis:

Se trata de una neumoconiosis leve y benigna provocada por la inhalación de vapores de hierro o por la acumulación de polvo con partículas de hierro en los macrófagos pulmonares tras una exposición prolongada a concentraciones elevadas. El óxido férrico es el componente principal del polvo de hierro involucrado en esta condición (33). Afecta principalmente a mineros de hematita, trabajadores de fundiciones de hierro y soldadores. Incluyen actividades como la minería, la soldadura, la producción de muelas abrasivas y la producción de joyería en plata (34). En el caso de mineros y trabajadores de fundiciones, la exposición frecuente a sílice en el entorno laboral puede llevar al desarrollo de sidero-silicosis, una condición que combina características histológicas tanto de siderosis como de silicosis (35).

Talcosis:

La talcosis, o neumoconiosis por talco, es un tipo de neumoconiosis por silicatos con características clínicas y morfológicas distintivas. El talco se emplea en diversas industrias, y la exposición suele ocurrir en trabajadores de la minería, procesamiento de minerales, industria del caucho y siderurgia. También pueden verse afectadas personas que usan grandes cantidades de talco en polvo. Además, el talco se utiliza como agente de carga en medicamentos orales, y en personas que inyectan tabletas trituradas por vía intravenosa, puede llegar a los pulmones a través del torrente sanguíneo. Asimismo, el talco se emplea en procedimientos de

pleurodesis, por lo que puede detectarse en muestras de neumonectomía extrapleural radical o autopsias de pacientes con mesotelioma maligno (35).

Estañosis:

Se produce tras inhalar en el ambiente laboral, partículas inorgánicas de óxido de estaño. Es una patología rara de curso leve, que afecta a personas que laboran en actividades como la purificación del mineral, la fundición, la minería o la soldadura, donde se liberan nanopartículas de este polvo. La exposición prolongada a estas partículas inhaladas puede desencadenar la enfermedad (36).

1.1.4 Clasificación de enfermedades pleurales benignas

La fibra de asbesto cuenta con características fisicoquímicas que le otorgan una alta capacidad de aislamiento térmico y una notable resistencia a la fricción. Estas propiedades han favorecido su uso en distintos sectores industriales, agrícolas y en materiales de aislamiento para la construcción. Aún en la actualidad, en muchos países existen edificaciones que incorporan materiales con una composición predominante de fibras de asbesto. Las patologías derivadas de la exposición ocupacional, o ambiental se caracterizan por presentar un extenso período de latencia, el cual puede variar entre una década y tres antes de que aparezcan los primeros síntomas. (37).

Entre las patologías pleurales benignas asociadas se incluye: placas pleurales, derrame pleural benigno por asbesto, fibrosis pleural difusa y atelectasia redonda.

Placas pleurales: Se define por la presencia de lesiones de tejido fibroso ubicadas predominantemente en la pleura parietal, con mayor frecuencia en las regiones

intercostales laterales y posteriores. También pueden encontrarse en la pleura mediastínica y diafragmática. Se considera la manifestación pleural más temprana tras el derrame pleural benigno (38).

Derrame pleural benigno: La manifestación más temprana de la exposición al asbesto puede aparecer antes de los diez años del contacto inicial. Se presenta como una pleuritis aguda, generalmente unilateral, con un derrame pleural serohemorrágico de pequeña o moderada cuantía que puede persistir por meses. Su celularidad es variable y mantiene niveles normales de glucosa. Aunque puede asociarse con placas pleurales, en algunos casos es la única evidencia de exposición al asbesto (39).

Fibrosis pleural difusa: Forma extensa de engrosamiento pleural caracterizada por la afectación de la pleura visceral, a diferencia de las placas pleurales, que comprometen la pleura parietal. Se trata de una paquipleuritis colagenizada, generalmente bilateral, con un grosor variable que puede oscilar entre 1 mm y más de 1 cm. Esta fibrosis puede extenderse hacia el parénquima subpleural a través de los septos interlobulares y las cisuras, con tractos fibrosos que incluso pueden penetrar en el pulmón. Su frecuencia es menor en comparación con las placas pleurales y se distingue de estas por su tendencia a afectar los ángulos costofrénicos. Es común la presencia de adherencias a la pleura parietal, lo que contribuye a la restricción pulmonar significativa (40).

Atelectasia redonda: Este fenómeno ocurre cuando una parte del pulmón queda atrapada debido a la retracción de la pleura fibrótica, causando la invaginación de la pleura sobre sí misma y atrapando el parénquima adyacente. Esto provoca la

tracción de bronquios y vasos pulmonares hacia la lesión, generando en radiografías una imagen curvilínea distintiva conocida como "cola de cometa". Es más frecuente en fibrosis pleurales extensas inducidas por asbesto, aunque también puede aparecer en fibrosis de otras causas. Su morfología radiológica suele ser característica y, en algunos casos, considerada patognomónica (12).

1.1.5 Mecanismo fisiopatológico

La Silicosis es una enfermedad pulmonar provocada por la inhalación de partículas de sílice, que resulta incapacitante, progresiva, incurable y, por ende, potencialmente letal. Los macrófagos alveolares cumplen una función importante. Es crucial en la patogenia de la silicosis, dado que estas células absorben la sílice que se ha inhalado y después liberan citocinas, que atraen o incitan a las demás células. La sílice presente en cristales es citotóxica y genera impacto directo de la membrana celular. Los macrófagos provocan la emisión de citocinas, factor de necrosis tumoral alfa, factores de crecimiento y oxidantes que fomentan la inflamación parenquimatosa, la producción completa de colágeno y, en última instancia, la fibrosis. Los macrófagos activados por sílice reclutan y estimulan la activación de linfocitos T que, a su vez, reclutan y activan una comunidad secundaria de macrófagos-monocitos. Los macrófagos activados generan citocinas que estimulan fibroblastos, y promueven la producción de colágeno en grandes volúmenes. El tamaño de las partículas de sílice en el entorno laboral varía; desde las más pequeñas, de 1 a 3µm, las de tamaño medio de aproximadamente 5µm, hasta las de gran tamaño que superan los 10µm, todas presentan características

aerodinámicas, concentración y densidad muy variadas; rasgos que influyen en su inhalación a mayor o reducida cantidad y duración. Cuando los macrófagos fallecen, liberan sílice en el intersticio circundante a los bronquiolos, causando la conocida silicosis. Conforme maduran, las lesiones nodulares se transforman en estructuras fibrosas densas, presentando el aspecto característico de una piel repleta de fisuras, circundada por una capa externa de células inflamatorias. En caso de exposición breve o de baja intensidad, estos nódulos se mantienen separados y no perjudican la función de los pulmones. Sin embargo, cuando la intensidad aumenta o la exposición se prolonga, estos nódulos se unen y provocan fibrosis progresiva con una reducción del volumen pulmonar (41,42).

En la **Asbestosis** la toxicidad del asbesto en el parénquima pulmonar se debe tanto al daño directo de sus fibras microscópicas en las células pulmonares como a la liberación de mediadores inflamatorios, incluyendo especies reactivas de oxígeno (ROS), proteasas, citoquinas y factores de crecimiento. Los ROS pueden generarse por contacto directo con las fibras o a través de vías de señalización intracelular, como la activación de la fosfolipasa C y la proteína quinasa C, lo que desencadena la producción de radicales libres. Estos radicales dañan el ADN y otras estructuras celulares, contribuyendo a la inflamación y progresión de la fibrosis pulmonar. La exposición crónica al asbesto genera una reacción inflamatoria con infiltración celular que, con el tiempo, evoluciona a fibrosis. Las fibras microscópicas tienden a depositarse en las bifurcaciones del bronquiolo respiratorio y el ducto alveolar, donde activan macrófagos que liberan citoquinas y factores de crecimiento, además de estimular la hiperplasia epitelial. Estas fibras pueden ser fagocitadas o

eliminadas por mecanismos mucociliares, aunque algunas son encapsuladas formando cuerpos ferruginosos debido a la precipitación de hierro y proteínas. A medida que la exposición se prolonga, se produce un incremento de neutrófilos, linfocitos y fibroblastos, lo que favorece la síntesis y depósito de colágeno, ocasionando engrosamiento alveolar, fibrosis y posibles calcificaciones. La severidad del daño es proporcional a la carga de exposición, siendo las fibras de anfíboles las más tóxicas por su facilidad de depósito en el tracto respiratorio distal. La enfermedad puede tardar de uno a cinco años en desarrollarse tras la exposición, con un periodo de latencia prolongado antes de la aparición de síntomas (43,44).

La fisiopatología de la **Neumoconiosis de los mineros de carbón** depende de factores como las características del polvo de carbón, la susceptibilidad individual y las condiciones laborales. Los carbones con mayor contenido de material volátil y radicales libres son más perjudiciales, ya que aumentan el riesgo de NMC. El carbón antracítico, que representa el 47% de las reservas mundiales, contiene menos partículas en suspensión y cenizas en comparación con el subituminoso y el lignito. En América del Sur y Centroamérica, el 55% del carbón es antracita y bituminoso, mientras que en Colombia este porcentaje alcanza el 94,3%. La presencia de cuarzo, hierro, sulfuros y pirita en el carbón ha sido relacionada con la aparición de la enfermedad, aunque la calcita podría reducir su toxicidad al inhibir la oxidación de la pirita (45).

Existen dos formas de NMC:

1. **Neumoconiosis simple**, caracterizada por pequeñas acumulaciones de partículas de carbón en los bronquiolos terminales y respiratorios. Su

progresión es lenta y los síntomas pueden tardar décadas en aparecer, aunque la disnea y la tos pueden estar influenciadas por el tabaquismo. En radiografías, se observan nódulos de 2-5mm.

2. **Fibrosis masiva progresiva**, una variante avanzada en la que se forman grandes masas de tejido fibroso negro infiltrado con polvo. Se desarrolla con exposiciones elevadas a partículas grandes y persistentes en el parénquima pulmonar, causando disnea progresiva y posible insuficiencia respiratoria. Se caracteriza por nódulos mayores a 10 mm y se asocia con bronquitis crónica y enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) (45).

La Beriliosis, la exposición al berilio puede desencadenar una respuesta inmunitaria celular, en la que las células T desarrollan sensibilidad al metal. Con cada exposición subsecuente, se activa una respuesta inmune en la que macrófagos y linfocitos T CD4⁺ se acumulan en los pulmones. A medida que esta respuesta progresa, se forman granulomas no caseosos, compuestos por macrófagos, linfocitos T CD4⁺ y células plasmáticas, que con el tiempo evolucionan hacia fibrosis pulmonar. Las investigaciones han identificado un componente genético en la susceptibilidad al berilio. En particular, los trabajadores con una mutación en la posición Glu69 del gen HLA-DPB1 presentan un mayor riesgo de sensibilización y desarrollo de beriliosis crónica (CBD). Este gen es clave para la función de la molécula de clase II del MHC en las células presentadoras de antígenos. Además,

el berilio y sus compuestos están clasificados como carcinógenos de categoría 1, con evidencia de causar cáncer tanto en humanos como en animales (46,47).

En la **Siderosis** pulmonar durante el proceso de soldadura, el óxido de hierro inhalado es captado por los macrófagos alveolares, que luego lo transfieren al parénquima pulmonar. Posteriormente, estos macrófagos migran a través de la sangre y los vasos linfáticos peribronquiales, formando pequeños nódulos. Debido a este mecanismo fisiopatológico, la tomografía computarizada puede revelar hallazgos característicos de la siderosis pulmonar (48).

La Talcosis puede desarrollarse por exposición ocupacional en minas o industrias relacionadas con el talco, así como por exposición accidental no laboral. Esto incluye casos en niños debido al uso de talco cosmético, en toxicómanos por inyección intravenosa de medicamentos con talco, y en pacientes que han recibido pleurodesis con talco. La composición del talco varía según la industria, pudiendo contener asbesto, mica o caolín en diferentes concentraciones, lo que influye en su toxicidad. Sin embargo, el talco por sí mismo puede inducir una reacción de células gigantes multinucleadas y daño en los tejidos. La embolización del talco puede generar arteritis y una reacción inflamatoria neutrofílica de cuerpo extraño. Sus partículas migran desde la pared vascular hasta el intersticio perivascular, formando nódulos coalescentes. También puede provocar fibrosis pleural con placas, fibrosis nodular parenquimatosa, fibrosis intersticial e infiltrados peri-bronquio vasculares de macrófagos con cristales birrefringentes (49).

En cuanto a la **Estañosis**; el óxido de estaño, al igual que otros compuestos como el sulfato de bario y la siderosis, provoca una neumokoniosis no fibrótica al ser inhalado, con una acumulación de macrófagos cargados de nanopartículas. Estos macrófagos activados liberan citoquinas inflamatorias y enzimas, lo que lleva a una mayor inflamación en los pulmones, liberación de especies reactivas y estrés oxidativo, causando alveolitis. Esto puede manifestarse como micro nódulos y vidrio esmerilado en las imágenes pulmonares. La gravedad de la afectación pulmonar depende de las características de las partículas, como tamaño, solubilidad y capacidad de eliminación. Las partículas más pequeñas, como las de óxido de estaño, suelen asociarse con exposiciones prolongadas sin generar fibrosis, mientras que las partículas más grandes pueden inducir una respuesta inflamatoria más intensa, estimulando la producción de factores de crecimiento que favorecen la fibrosis. Además, la inhalación de grandes cantidades de estas nanopartículas puede causar daño pulmonar agudo. La fibrosis pulmonar también ha sido observada en humanos, especialmente en aquellos con infecciones concomitantes como tuberculosis o exposiciones al asbesto y tabaco (36).

En cuanto a las **Enfermedades Pleurales Benignas**, en los trabajadores expuestos al asbesto, las fibras tienden a acumularse en la pleura, con concentraciones significativamente mayores en las placas pleurales y los ganglios linfáticos que en el parénquima pulmonar, desde donde migran hacia la periferia. Estas fibras se distribuyen principalmente en la hoja parietal de la pleura, de manera irregular y en focos agrupados, lo que explica la variabilidad en los estudios de cuantificación de fibras. Las fibras en la pleura suelen ser más pequeñas que las presentes en otras

partes del cuerpo. Aunque el mecanismo exacto por el cual las fibras llegan a la pleura no está completamente claro, se cree que el trayecto involucra el espacio intersticial peri-bronco vascular del pulmón y los vasos linfáticos, ya que estos tejidos ofrecen menor resistencia y el gradiente de presión negativo favorece el movimiento de las fibras hacia el espacio subpleural. La toxicidad del asbesto se debe a varios factores, como la forma, composición química y características de la superficie de las fibras, lo que contribuye a su impacto biológico y al desarrollo de enfermedades relacionadas (12).

Una teoría sugiere que las fibras avanzan mecánicamente hacia la periferia del pulmón, donde generan daño pleural directo, posiblemente desencadenando una respuesta inflamatoria. Otra posibilidad es que las fibras alcancen la pleura de manera retrógrada a través del sistema linfático de la pleura parietal. A pesar de que las personas con lesiones pleurales benignas presentan una mayor concentración de amianto en el tejido pulmonar en comparación con la población general, la cantidad de fibras depositadas en la pleura es mínima y solo puede detectarse mediante microscopía electrónica. Si bien los individuos con lesiones pleurales benignas por exposición al amianto tienen un mayor riesgo de desarrollar neoplasias secundarias relacionadas con este mineral, no se ha encontrado evidencia de que estas lesiones pleurales benignas evolucionen directamente hacia una transformación maligna (50).

1.1.6 Factores de riesgo ocupacionales

En el entorno laboral, las vías respiratorias, tales como las fosas nasales y los alvéolos, interactúan con 14.000 litros de aire durante 40 horas/semana laboral. Aún más relevante, las enfermedades respiratorias ocupacionales se ven significativamente exacerbadas por la intensidad de la contaminación, la actividad física y la extensión del período de exposición. Así pues, los empleados que se encuentran expuestos a contaminantes laborales durante un periodo de tiempo más extenso presentan un riesgo elevado (9).

Con la actividad física, la ventilación se incrementa y la respiración cambia de nasal a oral-nasal, lo que disminuye la filtración de partículas de aire a través de las vías respiratorias, y las vías respiratorias inferiores se encuentran más expuestas a elementos dañinos llevados por el aire. A pesar de que los irritantes potentes pueden provocar reacciones severas en el entorno laboral, los compuestos menos sensibilizantes pueden ser inhalados durante tiempos más extensos y causar una lesión en los pulmones. Así pues, la exposición laboral a agentes perjudiciales es un factor crucial en la aparición de enfermedades respiratorias (1,51,52).

Fuentes de exposición a polvos inorgánicos

Industria minera y extracción de minerales: En la minería del carbón, los trabajadores están en contacto constante con partículas de polvo de carbón. Del mismo modo, aquellos que laboran en la extracción de sílice y piedra caliza están expuestos a partículas finas de sílice cristalina, un agente altamente fibrogénico que puede provocar silicosis tras años de inhalación. Además, la explotación de

minerales metálicos como hierro, cobre y aluminio también representa un riesgo para la salud respiratoria de los mineros y operarios expuestos (35,42).

Industria de la construcción: La generación de polvo es frecuente debido al corte, perforación y demolición de materiales como concreto, ladrillos y piedra, lo que libera partículas de sílice cristalina en el ambiente. Del mismo modo, el uso de cemento y mortero en obras de construcción puede exponer a los trabajadores a polvo fino que, al ser inhalado de manera continua, provoca daños pulmonares a largo plazo. Otra fuente relevante de exposición en este sector es el uso de abrasivos y técnicas de arenado, donde la proyección de partículas a alta velocidad genera nubes de polvo con alta concentración de sílice y otros compuestos nocivos (42).

Industria metalúrgica y de fundiciones: Trabajadores involucrados en la soldadura y fundición de metales como hierro y acero inhalan humos metálicos y partículas finas que pueden desencadenar enfermedades pulmonares crónicas. Procesos como el esmerilado, lijado y pulido de metales también generan polvo en suspensión, lo que aumenta la probabilidad de inhalación de sustancias tóxicas si no se cuenta con medidas adecuadas de protección (35).

Sector textil e industrial: Los operarios pueden estar expuestos a partículas de fibras sintéticas y naturales como el algodón y la lana. La inhalación constante de estos materiales puede derivar en enfermedades respiratorias ocupacionales, especialmente en fábricas con ventilación inadecuada. Asimismo, en la industria de

la cerámica y la fabricación de vidrio, la manipulación de arcilla y la cocción de materiales pueden generar polvo de sílice, representando un riesgo importante para los trabajadores (44).

Industria de manufactura: La fabricación de baterías y productos electrónicos expone a los trabajadores a partículas de metales pesados como plomo y cadmio, los cuales pueden tener efectos perjudiciales en los pulmones. De manera similar, la producción de pinturas y pigmentos libera polvo de óxidos metálicos y compuestos químicos que, cuando son inhalados, pueden provocar daños respiratorios graves.

Factores de riesgo para desarrollo de neumoconiosis

En cuanto a la **Silicosis**; al evaluar el riesgo ocupacional se considera los elementos vinculados con el lugar de trabajo actual y otros lugares de trabajo anteriores, las particularidades del cargo actual, años de antigüedad en el cargo, horas de presencia diaria y otros detalles relevantes que se incorporan en una historia general de salud. Entre las actividades y sectores esenciales donde estos riesgos laborales están presentes, podemos mencionar: la minería de superficie y de carbón, aplicación de chorro de arena, producción de cemento, cerámicas, arcilla y alfarería, limpieza de superficies abrasivas, sector electrónico y demolición (41). Los riesgos a los que se enfrentan los trabajadores de la construcción y el factor de riesgo son considerablemente elevados, debido a la gran cantidad de procesos y materiales que poseen una concentración significativa de sílice. Esta concentración debería ser

inferior a 50 microgramos/m³ de sílice cristalina en un tiempo ponderado de 8 horas (53). La Organización Mundial de la Salud (OMS) junto a la Organización Internacional de trabajo (OIT), decidieron crear e instaurar a escala mundial una estrategia de acción destinada a resolver el problema de silicosis para el en el año 2030. A través de programas nacionales dirigidos a reducir progresivamente la exposición a sílice en el trabajo, iniciativas de colaboración técnica a nivel global están concebidas para apoyar a los países en su labor para luchar contra la silicosis y suprimirla como un problema de salud pública (11).

El peligro de padecer **Asbestosis** y su severidad varían en función de la dosis. La prevalencia de asbestosis radiológica registrada en investigaciones centradas en grupos laborales fluctúa dependiendo de la duración y la intensidad de la exposición.

Investigaciones epidemiológicas señalan que la aparición de asbestosis necesita una intensa exposición a asbesto, hay pruebas de que hay una dosis límite por debajo de la cual es improbable que ocurra la asbestosis. Esta dosis se sitúa al menos en el intervalo de 25 a 100 fibras/ml/año. Por lo tanto, detectamos asbestosis en individuos que han estado expuestos durante muchos años a un nivel elevado de exposición. Sin embargo, se han reportado casos de asbestosis vinculados a exposiciones cortas pero intensas (43).

El carbón no tiene una composición uniforme, y su potencial para causar **Neumoconiosis del minero de carbón** varía según su capacidad de combustión. El

principal factor de riesgo es la exposición acumulativa al polvo. Dentro de esto se incluyen:

- Exposición prolongada al polvo de carbón.
- Inhalación de sílice cristalina en el ambiente laboral.
- Trabajo en minas subterráneas, donde la concentración de polvo es mayor.
- Actividades como corte o perforación de carbón, que generan una mayor dispersión de partículas inhalables.

Los carbones con mayor combustibilidad representan un riesgo más alto debido a su elevada concentración de radicales libres en la superficie. Además, sus propiedades fisicoquímicas les permiten absorber compuestos aromáticos orgánicos como benceno, metileno y fenol del entorno, lo que puede afectar su actividad biológica y su impacto en la salud (31).

En cuanto a la **Beriliosis**, el principal factor de riesgo es la exposición al berilio. Los primeros casos fueron documentados en 1943 en una fábrica de tubos fluorescentes con altas concentraciones del metal. Para reducir los niveles tóxicos, en 1949 se establecieron límites de exposición, incluyendo un pico máximo de 25mcg/m³ en 30 minutos para prevenir la beriliosis aguda, una media mensual de 0,01mcg/m³ en zonas cercanas a fábricas para minimizar la exposición ambiental, y un límite laboral de 2,0mcg/m³. Hoy en día, las principales fuentes de exposición incluyen la industria aeroespacial y electrónica, la fabricación de giroscopios y reactores nucleares, el procesamiento de cerámicas, el uso de aleaciones de berilio en automóviles y computadoras, así como la producción de prótesis dentales(49).

Por otro lado, la presencia de un alelo HLA-DPB1 en el cromosoma 6 se ha asociado con un mayor riesgo de sensibilización al berilio y el posterior desarrollo de la enfermedad en personas expuestas. El berilio activa componentes de la inmunidad innata y adaptativa, provocando una respuesta inmune desregulada en personas con predisposición genética. En ciertos individuos, esta interacción induce la activación y migración de células dendríticas hacia los ganglios linfáticos, donde estimulan la proliferación de linfocitos T CD4+ sensibilizados. Estos regresan al pulmón, favoreciendo la formación de granulomas (54). Por ende, existiría un elemento de capacidad genética que, combinada con la exposición al medio ambiente, generaría el fenotipo patológico (49).

El grupo con mayor riesgo de desarrollar **Talcosis** está formado por los trabajadores que extraen el material de las minas y los molineros; sin embargo, también se han reportado casos de neumoconiosis en personas que utilizan productos de talco. Además, está determinado que los trabajadores con más de tres años de exposición al polvo de talco tienen un mayor riesgo de desarrollar talcosis en comparación con aquellos con menor antigüedad o que no han estado expuestos al polvo de talco (55).

La exposición prolongada al óxido de estaño durante la soldadura es el principal factor de riesgo para desarrollar la enfermedad, y un período de diez años de exposición está fuertemente asociado con la aparición de **Estañosis** (36).

Factores de riesgo asociados al desarrollo de enfermedades pleurales benignas por exposición a polvo inorgánico

Las enfermedades pleurales benignas resultantes de la inhalación de polvos inorgánicos, como el asbesto, la sílice y el talco, están estrechamente vinculadas a diversos factores de riesgo ocupacionales. La exposición directa se produce en trabajadores que manipulan materiales que contienen estas partículas, mientras que la exposición indirecta afecta a personas que conviven con trabajadores expuestos o que se encuentran en entornos cercanos a zonas de riesgo (56).

Los puestos de trabajo con mayor riesgo de desarrollar alteraciones pleurales debido a la exposición a fibras de amianto y otros agentes irritantes incluyen diversas industrias donde los trabajadores están en contacto frecuente con materiales peligrosos. Uno de los sectores más afectados es la industria naval, donde los constructores, reparadores y desmanteladores de barcos tienen una exposición significativa al amianto, utilizado en aislamientos térmicos y revestimientos. Del mismo modo, los mineros de amianto están expuestos a niveles elevados de estas fibras debido a su extracción y procesamiento. En la industria del acero, los trabajadores que manejan materiales de aislamiento, como los empleados en tuberías y calderas, también corren riesgo, ya que estos materiales suelen contener amianto. De manera similar, en la industria química, la exposición a ciertos productos químicos puede generar irritación pleural y aumentar la probabilidad de desarrollar enfermedades relacionadas (40).

Otro sector vulnerable es el de los trabajadores en la industria del petróleo y el gas, quienes pueden estar en contacto con sustancias tóxicas y productos químicos nocivos que afectan la pleura. Asimismo, en la construcción de túneles, los trabajadores están expuestos a polvos minerales y otras sustancias irritantes durante la excavación y edificación, lo que también representa un factor de riesgo.

La duración e intensidad de la exposición son determinantes clave en el desarrollo de estas patologías. Aunque incluso exposiciones de corta duración pueden ser perjudiciales, una exposición prolongada y a altas concentraciones incrementa significativamente el riesgo. Además, las características físicas de las partículas, como su tamaño y forma, influyen en su capacidad para penetrar en las vías respiratorias y alcanzar la pleura. La falta de uso de equipos de protección personal adecuados, como mascarillas con filtros específicos, y la ausencia de sistemas de ventilación eficaces en el lugar de trabajo aumentan la probabilidad de inhalación de estas partículas nocivas (57).

1.2 Evaluación, diagnóstico y normativas

Metodología OIT para diagnóstico radiológico

Para garantizar una evaluación uniforme de las enfermedades pulmonares ocupacionales, la Organización Internacional del Trabajo ha desarrollado un sistema estandarizado para el diagnóstico de la neumoconiosis. Esta metodología facilita su reconocimiento tanto en estudios clínicos como epidemiológicos, asegurando una interpretación radiológica homogénea. La Clasificación Internacional de Radiografías de Neumoconiosis de la OIT ofrece un sistema estandarizado para identificar y documentar de manera sistemática las alteraciones radiográficas en el tórax causadas por la inhalación de polvo. Se emplea para describir anomalías radiológicas presentes en distintos tipos de neumoconiosis y está diseñada exclusivamente para la evaluación de radiografías torácicas en proyección postero-anterior (58).

El propósito de esta clasificación es codificar de forma clara y reproducible las alteraciones radiográficas asociadas con la neumoconiosis. Su aplicación es de alcance global y se utiliza en estudios epidemiológicos, programas de detección y vigilancia de trabajadores expuestos a polvo, así como en la práctica clínica.

La clasificación de la OIT está conformada por la “*Guía para el uso de la Clasificación Internacional de la OIT de Radiografías de Neumoconiosis*” y un conjunto de radiografías estándar. La guía es un documento técnico que busca uniformar los criterios de clasificación y facilitar la comparación de estadísticas e

informes de investigación a nivel internacional. En la edición revisada de 2022, la clasificación ha evolucionado hacia el uso de un nuevo conjunto de imágenes radiográficas estándar obtenidas digitalmente, reemplazando las imágenes analógicas digitalizadas de la versión de 2011(58).

Características de Metodología OIT (58):

1. Evaluación Radiográfica

Se emplean radiografías de tórax en proyección postero-anterior y se utiliza un conjunto de imágenes estándar adquiridas digitalmente en la versión 2022. Las radiografías son evaluadas según la calidad técnica y la presencia de anomalías pulmonares y pleurales.

2. Clasificación de Anomalías

Las alteraciones radiográficas detectadas en la evaluación de neumoconiosis se clasifican en tres grandes categorías: opacidades pequeñas, opacidades grandes y anomalías pleurales (58).

Opacidades Pequeñas

Son alteraciones pulmonares difusas que se presentan en forma de pequeños depósitos de material fibroso en el tejido pulmonar. Se describen con base en tres criterios:

- Forma
- ✓ Redondas: Se subdividen en *p* (**pequeñas, ≤ 1.5 mm**), *q* (medianas, entre 1.5 y 3 mm) y *r* (grandes, entre 3 y 10 mm).

- ✓ Irregulares: Se dividen en *s* (**pequeñas**, $\leq 1.5 \text{ mm}$), *t* (medianas, entre 1.5 y 3 mm) y *u* (grandes, entre 3 y 10 mm).

- Profusión

Se cuantifica en una escala de 12 niveles, agrupados en cuatro categorías principales:

- ✓ 0: Ausencia de opacidades.
- ✓ 1: Presencia mínima.
- ✓ 2: Presencia moderada.
- ✓ 3: Presencia severa.

Se compara la radiografía con imágenes estándar para determinar la profusión exacta.

- Distribución

- ✓ Se localizan en los campos pulmonares superiores, medios o inferiores.
- ✓ Se registran en función de su presencia en uno o ambos pulmones.

Opacidades Grandes

Son lesiones pulmonares de mayor tamaño ($>10 \text{ mm}$) que indican la progresión de la enfermedad. Se clasifican en:

- ✓ Categoría A: Una sola opacidad de 10 a 50 mm de diámetro.

- ✓ Categoría B: Una o más opacidades mayores a 50 mm sin superar un tercio del pulmón.
- ✓ Categoría C: Masa fibrosa extensa que ocupa más de un tercio del pulmón.

Anomalías Pleurales

Las alteraciones pleurales se dividen en engrosamiento pleural y calcificaciones.

- Engrosamiento pleural
 - ✓ Puede ser localizado (placas pleurales) o difuso (afectando amplias zonas).
 - ✓ Se describe su ubicación en la pared torácica (lateral o diafragmática).
 - ✓ Se registra su extensión y si presenta calcificación.
- Obliteración del ángulo costofrénico

Indica fibrosis o derrame pleural crónico.
- Calcificación pleural

Se clasifica según su extensión (mínima, moderada o extensa).

3. Procedimiento de Clasificación

- a) Evaluación de calidad técnica en cuatro niveles (buena, aceptable, defectuosa o inaceptable).

- b) Detección de opacidades pulmonares y pleurales mediante comparación con radiografías estándar.
- c) Registro estandarizado de hallazgos en hojas de lectura de la OIT.

4. Uso en Epidemiología y Diagnóstico Clínico

Se aplica en investigaciones epidemiológicas, cribado y vigilancia de salud ocupacional. No define entidades patológicas ni implica criterios legales de compensación.

5. Innovaciones de la Edición 2022

- Uso exclusivo de imágenes digitales para mejorar precisión.
- Incorporación de nuevas imágenes de referencia tras revisión por expertos internacionales.
- Continuidad con ediciones previas para garantizar coherencia en estudios longitudinales.

Metología para diagnóstico tomográfico

La tomografía computarizada de alta resolución ha emergido como una herramienta fundamental en la evaluación de enfermedades pulmonares ocupacionales, incluyendo la neumoconiosis. Aunque la Clasificación Internacional de Radiografías de Neumoconiosis de la OIT sigue siendo el estándar de referencia en salud ocupacional, la tomografía ha demostrado una mayor sensibilidad y

especificidad, permitiendo una detección más temprana y precisa de las alteraciones pulmonares (59).

A diferencia de la radiografía de tórax, la TCAR permite una visualización detallada del parénquima pulmonar y las estructuras pleurales, facilitando la identificación de hallazgos específicos y su diferenciación con otras patologías pulmonares. En este contexto, se han desarrollado criterios tomográficos para la clasificación de la neumoconiosis, siendo uno de los más relevantes el propuesto por la International Classification of HRCT for Occupational and Environmental Respiratory Diseases (ICOERD), que adapta los principios de la clasificación de la OIT al estudio tomográfico (59).

Características de clasificación ICOERD:

1. Hallazgos Principales en TCAR

Opacidades Pequeñas o Micro-nódulos

Los micro-nódulos representan uno de los signos más tempranos de la neumoconiosis y suelen distribuirse en la región centrolobulillar o peri-bronco vascular, dependiendo del tipo de polvo inhalado. En la silicosis y la neumoconiosis de los mineros del carbón, los nódulos suelen ser bien definidos, mientras que, en la asbestosis y la neumonitis por hipersensibilidad, los nódulos tienen bordes más mal definidos debido a la inflamación asociada. Estos micro-nódulos pueden agruparse en diferentes zonas pulmonares, observándose una predilección por los lóbulos superiores en la silicosis y la neumoconiosis del

carbón, mientras que, en la asbestosis, la afectación predomina en los lóbulos inferiores y la región subpleural (60).

Opacidades Grandes o Fibrosis Masiva Progresiva

En casos avanzados, los micro-nódulos pueden confluir formando masas fibróticas mayores a 1 cm, lo que se conoce como fibrosis masiva progresiva. Estas lesiones son más frecuentes en la silicosis y la neumoconiosis de los mineros del carbón y suelen localizarse en los lóbulos superiores. La progresión de la FMP genera una retracción del parénquima pulmonar, con desplazamiento de estructuras mediastínicas y enfisema compensador en las zonas inferiores del pulmón. La presencia de estas masas fibróticas suele estar asociada con un deterioro significativo de la función pulmonar y con un mayor riesgo de complicaciones, como la tuberculosis pulmonar (60).

Engrosamiento Pleural y Placas Pleurales

La afectación de la pleura es un signo distintivo de la asbestosis, caracterizándose por la presencia de placas pleurales, que pueden estar calcificadas o no. Estas formaciones suelen ubicarse en la pared lateral del tórax, el diafragma y la pleura mediastínica, y su detección se considera un indicador de exposición al asbesto. En otras neumoconiosis, como la silicosis, también pueden presentarse alteraciones pleurales, tales como el engrosamiento pleural difuso y la obliteración del ángulo costofrénico, aunque estas manifestaciones tienen menor especificidad. (60).

Enfisema Asociado

El enfisema es una manifestación frecuente en la neumoconiosis del minero del carbón, donde se observa un patrón centrolobulillar y paraseptal. En algunos casos avanzados, el enfisema puede adquirir un patrón bulloso, contribuyendo a la disfunción ventilatoria obstructiva. En la silicosis, la presencia de enfisema está relacionada con una inflamación crónica persistente y con la destrucción del tejido pulmonar, lo que puede exacerbar la progresión de la enfermedad (60).

Atrapamiento Aéreo

El atrapamiento aéreo es otro hallazgo relevante en la TCAR, particularmente en casos de exposición a polvos orgánicos. Se observa en imágenes obtenidas en espiración, donde aparecen zonas de menor atenuación, reflejando la obstrucción de las vías aéreas pequeñas. Este patrón es característico en enfermedades como la neumonitis por hipersensibilidad crónica y la bronquiolitis respiratoria asociada a la exposición ocupacional (60).

2. Clasificación ICOERD para TCAR en Neumoconiosis

Para estandarizar la interpretación de la TCAR en la neumoconiosis, la ICOERD ha desarrollado un sistema de clasificación basado en los siguientes criterios (60):

2.1 Profusión Nodular

La severidad de los micro-nódulos se clasifica en tres grados:

- Leve: Presencia de pocos nódulos dispersos en el parénquima.
- Moderada: Aumento significativo en el número de nódulos, con tendencia a la confluencia.
- Severa: Micro-nódulos confluentes que afectan amplias zonas pulmonares.

2.2 Distribución de las Opacidades

La distribución de los nódulos y la fibrosis puede ser:

- Centrolobulillar: Predominante en silicosis y neumoconiosis del carbón.
- Perilobulillar: Asociada a neumonitis por hipersensibilidad.
- Peri-bronco vascular: Más común en casos de fibrosis avanzada.

2.3 Presencia de Fibrosis Masiva Progresiva

Se establece la categorización de la FMP en tres niveles:

- Categoría A: Una sola lesión entre 1 y 5 cm.
- Categoría B: Masas múltiples mayores a 5 cm sin afectar más de un tercio del pulmón.
- Categoría C: Extensa fibrosis con afectación de más de un tercio del pulmón.

2.4 Afectación Pleural

La evaluación de la pleura se basa en la presencia de:

- Placas pleurales (con o sin calcificación).
- Engrosamiento pleural difuso.
- Derrame pleural crónico.

La incorporación de la tomografía en la evaluación de la neumoconiosis ha permitido mejorar la precisión diagnóstica, especialmente en casos iniciales o en pacientes con hallazgos radiográficos inespecíficos. A diferencia de la radiografía, la TCAR permite diferenciar entre distintos subtipos de neumoconiosis y excluir otras enfermedades pulmonares con manifestaciones similares. Además, la TCAR es una herramienta útil para el seguimiento de la progresión de la enfermedad, facilitando la identificación temprana de la fibrosis masiva progresiva y otras complicaciones, como la tuberculosis pulmonar.

1.2.1 Silicosis

Manifestaciones clínicas

La manifestación clínica de la Silicosis está fuertemente influenciada por la intensidad y el tiempo de exposición. A pesar de que en la fase inicial de la silicosis simple usualmente no se observan signos ni síntomas, cuando estos aparecen, pueden ser atribuidos al consumo de tabaco o a la existencia de bronquitis industrial. Así, si se da una exposición intensa en poco tiempo como en la silicoproteínosis o silicosis aguda, el paciente experimenta un estado de disnea progresiva durante semanas o meses, acompañado de una significativa pérdida de peso lo cual, en

menos de 2 años, progresa hasta la muerte. Por otro lado, si la exposición ha sido más prolongada como sucede con la silicosis crónica o simple, pueden surgir síntomas durante un periodo de 10 a 20 años de la exposición, tales como tos, expectoración, disnea como signo tardío, y pueden surgir episodios de hemoptisis recurrentes de poca cuantía. Para la silicosis acelerada, se necesitará únicamente un periodo de exposición de 4 a 8 años. Lamentablemente, esta forma se desarrolla progresando hacia la fibrosis y la muerte de manera más veloz. La fibrosis masiva progresiva, también conocida como complicada, puede desarrollarse incluso después de que la exposición a la sílice haya cesado. Clínicamente, se manifiesta con síntomas como disnea de esfuerzo y tos persistente. Además, la presencia de polvo en los pulmones puede inducir bronquitis o favorecer la formación de grandes masas en los ganglios linfáticos, las cuales pueden ejercer presión sobre la tráquea y los bronquios, afectando la función respiratoria (61).

Diagnóstico

Para el diagnóstico ocupacional de silicosis, se debe realizar una historia clínica exhaustiva donde se investigue la exposición a la sílice; la intensidad y duración de esta.

Silicosis aguda: Ocurre tras meses de exposición intensa a sílice, con una latencia de hasta 5 años. Se presenta con tos de rápida evolución, disnea, pérdida de peso, cianosis y debilidad. La radiografía de tórax muestra patrón alveolar bilateral con

infiltrados miliares, y las pruebas de función pulmonar reflejan un trastorno restrictivo con disminución del intercambio gaseoso (62).

Silicosis acelerada: Requiere al menos 1 año de exposición a altas concentraciones, con una latencia de hasta 10 años. Se manifiesta con tos y disnea, de progresión más lenta que en la forma aguda pero más rápida que en la crónica. La radiografía revela patrón alveolar bilateral y nódulos pulmonares, mientras que las pruebas de función pulmonar indican un déficit restrictivo con alteración del intercambio gaseoso (62).

Silicosis crónica: Se desarrolla tras más de 5 años de exposición prolongada y se caracteriza por tos y disnea progresivas. En su forma simple, la tos es seca y no productiva, mientras que en la complicada puede volverse productiva, asociándose con EPOC y cor-pulmonale en los casos más graves. La enfermedad puede detectarse durante la exposición o incluso años después, en formas leves y poco progresivas, mediante exámenes ocasionales (62).

A pesar de que la radiografía de tórax tiene limitaciones en la detección temprana de enfermedades pulmonares ocupacionales, continúa siendo el método sugerido por la Organización Internacional del Trabajo para identificar la silicosis. No obstante, elementos como la baja calidad de las radiografías puede influir en la precisión del diagnóstico también la dificultad de los médicos para identificar la enfermedad por temas de capacitación en el método y la variabilidad en los tiempos

de latencia de las diferentes enfermedades pulmonares ocupacionales complican la detección y la estimación real de la carga de la silicosis (63).

La radiografía de tórax en su forma más simple puede revelar la presencia de opacidades redondeadas de pequeño tamaño, con diámetros que varían hasta aproximadamente 1.5 mm, entre 1.5 y 3 mm, o entre 3 y 10mm. Según la clasificación de la OIT, estas opacidades se designan con las letras p, q y r, respectivamente. Estas alteraciones suelen afectar ambos pulmones, con mayor frecuencia en las zonas superiores, donde también es común observar un patrón de reticulación (62).

En los casos de fibrosis masiva progresiva, la radiografía de tórax muestra la presencia de opacidades de gran tamaño, las cuales se clasifican de acuerdo con la OIT en tres categorías:

- **Categoría A:** Se observa una única opacidad grande con una dimensión máxima de aproximadamente 50mm, o bien varias opacidades grandes cuya suma de dimensiones no supera los 50mm.
- **Categoría B:** Se identifica una opacidad grande con una dimensión superior a 50 mm, pero sin sobrepasar el área equivalente a la zona superior derecha del pulmón, o múltiples opacidades cuya suma de dimensiones supera los 50 mm, pero sin exceder dicha área.

- **Categoría C:** Se presenta una única opacidad que supera el área equivalente a la zona superior derecha del pulmón, o múltiples opacidades que, al combinarse, sobrepasan dicha extensión.

Por otro lado, la tomografía de alta resolución es más sensible y específica en la identificación de alteraciones pulmonares en etapas iniciales, incluyendo cambios parenquimatosos, enfisema y engrosamiento pleural. Sin embargo, su uso no está avalado por la Clasificación Internacional de TCAR para Enfermedades Respiratorias Ocupacionales y Ambientales (ICOERD) debido a su alto costo, la exposición a radiación y la limitada accesibilidad. A pesar de estas restricciones, se recomienda continuar con estudios de TCAR para correlacionar mejor los hallazgos radiológicos con los hallazgos patológicos (63).

En la tomografía se puede visualizar nódulos de contornos bien definidos, cuyo tamaño varía entre 2 y 5 mm de diámetro, distribuidos en ambos pulmones, con un claro predominio en los lóbulos superiores. En algunos casos, estos nódulos pueden presentar calcificación. La distribución de los nódulos suele ser centrolobulillar y subpleural, aunque en ocasiones pueden disponerse de manera aleatoria. A medida que la enfermedad progresa, pueden formarse masas irregulares de mayor tamaño, conocidas como fibrosis masiva progresiva. Estas masas pueden desarrollar cavidades secundarias a necrosis isquémica. Asimismo, es frecuente la presencia de adenopatías hiliares y mediastínicas, lo que indica un compromiso del sistema linfático. En cuanto a la función pulmonar, los estudios suelen mostrar una

combinación de alteraciones restrictivas y obstructivas, reflejando el impacto de la enfermedad en la ventilación y el intercambio gaseoso (62).

a biopsia pulmonar no se recomienda a menos que sea absolutamente necesaria, debido a los riesgos asociados con la manipulación quirúrgica. Sin embargo, es la única manera de confirmar un diagnóstico en casos atípicos, ausencia de antecedentes de exposición ocupacional o discrepancias entre los hallazgos de imagen. Existen diferentes métodos de biopsia con diversas indicaciones (63):

- Biopsia Pulmonar Quirúrgica (BPU): Se recomienda cuando el diagnóstico clínico no es claro y se necesita una muestra de tejido más representativa.
- Criobiopsia Pulmonar Transbronquial (TBLC): Considerada más segura y precisa que la BPU, proporcionando información clave para la evaluación multidisciplinaria.
- Biopsia Pulmonar Transbronquial (TBLB): No recomendada debido al pequeño tamaño de la muestra y su vulnerabilidad al daño, lo que dificulta su análisis patológico.
- Biopsia por Punción Percutánea Guiada por TC: Aunque existe un alto riesgo de neumotórax, es útil para el diagnóstico auxiliar y el diagnóstico diferencial de la neumoconiosis.

Hallazgos histopatológicos: Se basa en la identificación de nódulos silicóticos, los cuales son de consistencia firme, color gris pizarra y varían en tamaño desde milímetros hasta 1 cm. En estados avanzados, estos nódulos pueden fusionarse, formando fibrosis confluyente, y si superan los 2 cm, se consideran característicos de silicosis conglomerada. A nivel microscópico se puede encontrar: colágeno hialinizado en disposición en espiral dentro del nódulo, con un borde periférico de colágeno menos organizado, macrófagos rodeando el centro fibrótico en lesiones recientes, calcificación u osificación en lesiones de larga evolución y acumulación intraalveolar de material granular eosinofílico en exposiciones extremas, simulando proteinosis alveolar (35).

Normativa Española

En España, el diagnóstico y la vigilancia de esta enfermedad están regulados por un conjunto de normativas y protocolos específicos.

Marco Normativo

- Ley General de la Seguridad Social: Define la enfermedad profesional como aquella contraída a consecuencia del trabajo en actividades especificadas en un cuadro oficial y provocada por elementos o sustancias indicadas para cada enfermedad (64).
- Real Decreto 1299/2006: Aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social y establece criterios para su notificación y

registro. Este decreto actualiza la lista de enfermedades profesionales, incluyendo la silicosis, y mejora los procedimientos de declaración y prevención (64).

Procedimientos Diagnósticos:

- **Historia Clínico-Laboral:** Recopilación detallada de antecedentes laborales y médicos del trabajador para evaluar el nivel y duración de la exposición. Sectores como la minería, la construcción y la industria de la piedra son especialmente relevantes. La duración y la intensidad de la exposición son datos clave para evaluar el riesgo (20).
- **Exámenes de Imagen:** La radiografía de tórax es fundamental para detectar opacidades pulmonares características de la silicosis. En casos específicos, se recomienda la tomografía computarizada de alta resolución (TCAR) para una evaluación más detallada.
- **Pruebas Funcionales Respiratorias:** Evaluación de la función pulmonar mediante espirometría para detectar posibles alteraciones. Estas pruebas ayudan a determinar el impacto de la enfermedad en la función pulmonar. Aunque algunos pacientes pueden presentar resultados normales en etapas iniciales, es común encontrar patrones restrictivos o mixtos en fases más avanzadas (20).

- **Exclusión de Otras Enfermedades:** Es esencial descartar otras patologías con manifestaciones similares, como la tuberculosis o enfermedades intersticiales pulmonares, mediante pruebas específicas y cultivos microbiológicos.

Periodicidad de los Exámenes de Salud:

La frecuencia de los exámenes médicos depende del nivel de exposición y del tiempo transcurrido desde el inicio de esta. Se recomienda una evaluación inicial al comenzar la exposición y seguimientos periódicos cuya frecuencia se determinará según el riesgo y los hallazgos clínicos.

Normativa Chilena

En Chile, la silicosis se reconoce como una enfermedad profesional bajo el marco legal de la Ley N°16.744 sobre Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales, y su reglamento correspondiente, el Decreto Supremo N°109. La clasificación de la enfermedad profesional causada por la exposición a sílice sigue un proceso medicolegal que evalúa la relación entre la exposición laboral y el desarrollo de patologías pulmonares en los trabajadores afectados (65).

Criterios de Calificación como Enfermedad Profesional

Para que un caso de silicosis sea calificado como enfermedad profesional, deben cumplirse los siguientes requisitos (66):

1. Exposición laboral: El trabajador debe haber estado expuesto de manera significativa y prolongada a la sílice en su entorno de trabajo, especialmente en sectores como la minería, la construcción, la fundición y la industria del vidrio.
2. Enfermedad pulmonar: Se debe diagnosticar una patología pulmonar relacionada con la exposición a sílice, siendo la silicosis la más frecuente.
3. Relación causal: Se debe demostrar que la enfermedad fue ocasionada o agravada directamente por la exposición a la sílice en el trabajo. Para ello, se analizan los antecedentes clínicos y laborales, junto con la realización de pruebas médicas y evaluación de la exposición ocupacional.

La clasificación de la silicosis como enfermedad profesional otorga al trabajador derechos como acceso a atención médica especializada, compensaciones económicas y reubicación laboral, según lo estipulado en la normativa vigente.

El diagnóstico de silicosis requiere una historia laboral detallada, que incluya:

- Sectores productivos en los que ha trabajado el paciente (minería, construcción, cerámica, fundición, demolición, etc.).
- Duración y nivel de exposición a la sílice.
- Presencia o ausencia de medidas de protección personal en el entorno laboral.

Este análisis permite una mejor identificación de los trabajadores en riesgo y facilita la implementación de medidas preventivas y de control en los lugares de trabajo.

Confirmación del Diagnóstico de Silicosis

Para establecer el diagnóstico, se siguen distintos niveles de evaluación (67):

1. Pruebas Obligatorias:

- ✓ La radiografía de tórax con técnica OIT (Organización Internacional del Trabajo) es el estudio inicial recomendado. Se considera indicativa de silicosis cuando muestra una profusión de 1/0 o 1/1, evidenciando opacidades pulmonares características.
- ✓ Dado que la radiografía por sí sola no es definitiva, su interpretación debe ser realizada por especialistas acreditados en enfermedades pulmonares ocupacionales, quienes analizan el patrón, tamaño y distribución de las lesiones pulmonares.

2. Pruebas Complementarias:

- ✓ Tomografía Computarizada de Alta Resolución (TCAR): Se recomienda en casos donde la radiografía de tórax no sea concluyente. Esta prueba permite visualizar con mayor detalle las lesiones pulmonares, como nódulos, fibrosis y engrosamiento pleural, contribuyendo a una evaluación más precisa.
- ✓ Biopsia pulmonar: Aunque no es el método diagnóstico de elección, puede ser utilizada en casos donde se requiere descartar otras enfermedades pulmonares con manifestaciones similares, como sarcoidosis o neoplasias pulmonares.

Normativa Peruana

En el Perú, la silicosis está reconocida como una enfermedad profesional, y su diagnóstico se rige por un marco normativo específico que establece los criterios y procedimientos para su identificación y manejo.

Marco Normativo

- Resolución Ministerial N°480-2008/MINSA: Aprueba la "Norma Técnica de Salud que establece el Listado de Enfermedades Profesionales", incluyendo la silicosis en el Grupo 4, correspondiente a enfermedades causadas por inhalación de sustancias y agentes no clasificados en otros apartados (68).
- Resolución Suprema N°014-93-TR: Adopta la "Clasificación Radiográfica Internacional de la Neumoconiosis" de la Organización Internacional del Trabajo (OIT), edición de 1980, para la evaluación y diagnóstico de la silicosis en el país (68).

Criterios Diagnósticos

El diagnóstico de silicosis en el Perú se basa en:

1. Historia Ocupacional: Evaluación detallada de la exposición laboral del trabajador a polvo de sílice, considerando sectores como minería, construcción y otros donde exista riesgo de inhalación de sílice.
2. Evaluación Radiológica:
 - ✓ Radiografía de Tórax: Realizada según los criterios de la OIT, para identificar opacidades nodulares características de la silicosis.
 - ✓ Tomografía Computarizada de Alta Resolución (TCAR): Indicada en casos donde la radiografía de tórax no es concluyente o se requieren detalles adicionales.
3. Pruebas Funcionales Respiratorias: Determinación de la capacidad pulmonar y evaluación de posibles limitaciones funcionales.

Procedimiento de Diagnóstico

- Lectura de Imágenes: La interpretación de las radiografías debe ser realizada por médicos capacitados en la lectura de placas de tórax según los criterios de la OIT. El Instituto Nacional de Salud (INS) mantiene un registro de profesionales entrenados para este fin (69).

- Registro y Notificación: Los casos confirmados de silicosis deben ser reportados al Registro Único de Neumoconiosis de origen profesional, con el objetivo de elaborar estadísticas nacionales y monitorear la incidencia de la enfermedad (68).

Vigilancia epidemiológica

El Ministerio de Salud, en coordinación con el Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo, ha implementado el "Plan Nacional para la Prevención y Erradicación de la Silicosis en el Perú". Este plan establece estrategias para la vigilancia epidemiológica, promoción de ambientes laborales seguros y educación sobre prácticas preventivas para reducir la incidencia de la silicosis en el país (70).

1.2.2 Asbestosis

Manifestaciones clínicas

La asbestosis se manifiesta clínicamente con disnea, tos seca y la presencia de crepitaciones en la auscultación pulmonar. Se trata de una enfermedad caracterizada por fibrosis intersticial difusa, cuya aparición está relacionada con la intensidad y duración de la exposición al asbesto. Generalmente, los síntomas tardan hasta una década en desarrollarse.

El signo más frecuente es la disnea progresiva, que suele comenzar con el esfuerzo físico y agravarse con el tiempo. Otros síntomas incluyen tos persistente sin expectoración, hemoptisis, sibilancias y dolor torácico. Investigaciones han señalado que la disnea y las sibilancias pueden provocar una reducción de la capacidad ventilatoria en un 11-17% de los trabajadores expuestos, mientras que

síntomas como la tos, la flema y la bronquitis crónica afectan entre el 2% y el 8% de los casos. Además, más de la mitad de los pacientes experimentan dolor torácico intermitente, aunque solo un 9% lo padece de manera constante. Un dolor progresivo o severo podría ser indicativo de complicaciones como pleuritis o patologías malignas.

Dado su carácter fibrótico intersticial, esta afección también puede provocar pérdida de peso. En la exploración física, es común detectar crépitos bibasales al final de la inspiración, además de signos que reflejan un estado avanzado de la enfermedad, como la cianosis y la aparición de dedos en palillo de tambor (44,71).

Criterios Diagnósticos

Para establecer el diagnóstico, es fundamental contar con un historial confirmado de exposición prolongada al asbesto, idealmente con datos sobre la concentración de fibras en el aire, si están disponibles. La detección de fibras de asbesto en muestras biológicas, como esputo, líquido de lavado bronco-alveolar (BAL) o biopsias, puede contribuir a respaldar la confirmación de la exposición. Se considera que el tiempo mínimo requerido de exposición es de un año. El síntoma inicial más común es la disnea progresiva, que suele presentarse sin sibilancias, acompañada de tos seca no productiva. En la exploración física, se pueden detectar crepitantes inspiratorios en las zonas inferiores de los pulmones. En estadios avanzados de la enfermedad, pueden aparecer manifestaciones como pérdida de peso, cianosis y acropaquías.

Según la OIT, se deben considerar los siguientes criterios:

✓ Radiografía de tórax: Opacidades irregulares difusas con un patrón reticular o reticulonodular, principalmente en los lóbulos inferiores. Según la clasificación de la OIT, se designan como 's' (hasta 1.5 mm), 't' (1.5-3 mm) y 'u' (3-10 mm). En fases avanzadas, estas alteraciones pueden afectar todo el pulmón, con engrosamiento de las opacidades lineales y posible patrón en panal de abeja, especialmente en las áreas subpleurales (62).

✓ Tomografía computarizada: Es más sensible para detectar alteraciones pulmonares tempranas y diferenciar entre placas pleurales y lesiones parenquimatosas. Se pueden observar engrosamiento pleural difuso, generalmente asimétrico, y atelectasia redonda, un hallazgo altamente característico. Su uso es particularmente útil en casos de (62):

1. Sospecha de fibrosis pulmonar incipiente.
2. Discordancia entre radiografías normales y pruebas de función pulmonar con patrón restrictivo.
3. Alteraciones pleurales extensas que dificultan la visualización del parénquima pulmonar en la radiografía.

✓ Pruebas de función pulmonar: Los resultados suelen evidenciar un patrón restrictivo o combinado, caracterizado por una reducción en la capacidad de difusión pulmonar, lo que refleja un compromiso en el intercambio gaseoso.

- ✓ Presencia de fibras de asbesto: La detección de cuerpos ferruginosos o fibras de asbesto en esputo, líquido de lavado bronco-alveolar (BAL) o biopsia pulmonar puede ser un hallazgo complementario, aunque no es imprescindible para el diagnóstico.

Por otro lado, la American Thoracic Society (ATS) en su documento oficial de 2004, establece criterios similares (72).

Criterios Diagnósticos de la Asbestosis según la ATS:

1. Evidencia de patología estructural compatible con asbestosis:
 - Imágenes radiológicas que muestren fibrosis pulmonar intersticial, especialmente en las zonas inferiores de los pulmones.
 - Histología que confirme la presencia de fibrosis intersticial y cuerpos ferruginosos (asbestos).
2. Evidencia de exposición al asbesto:
 - Historia laboral detallada que indique una exposición significativa al asbesto.

- Marcadores de exposición, como la presencia de placas pleurales en estudios de imagen o la identificación de cuerpos de asbesto en muestras de tejido pulmonar.

3. Exclusión de otras causas plausibles para los hallazgos observados:

Evaluación clínica y diagnóstica exhaustiva para descartar otras enfermedades que puedan presentar síntomas o signos radiológicos similares, como la fibrosis pulmonar idiopática o enfermedades del tejido conectivo.

Hallazgos histopatológicos: La asbestosis es una enfermedad pulmonar intersticial caracterizada por un patrón fino reticular de fibrosis que puede progresar hasta una fibrosis severa con retracción pulmonar y patrón en panal de abeja. Las lesiones suelen localizarse en las zonas pulmonares inferiores, y es común la presencia de fibrosis pleural visceral y placas pleurales bilaterales, que en algunos casos pueden estar calcificadas.

Inicialmente, se observa fibrosis en las paredes de los bronquiolos respiratorios, con la presencia de cuerpos de asbesto en el intersticio peribronquiolar. La fibrosis se extiende hacia los conductos alveolares y los bronquiolos terminales, afectando progresivamente los septos alveolares distantes. Se pueden observar macrófagos alveolares prominentes, en algunos casos simulando un patrón de neumonía intersticial descamativa. Los cuerpos de Asbesto son la marca distintiva de la exposición al asbesto, presentándose como estructuras en forma de varilla, cuentas

o pesas, con un revestimiento dorado-marrón y un núcleo central translúcido. Se encuentran predominantemente en el intersticio peribronquiolar, aunque en exposiciones intensas pueden detectarse en los espacios alveolares (35).

Normativa Española

El diagnóstico de asbestosis se determina de la integración de criterios clínicos, radiológicos y funcionales para una evaluación precisa.

Criterios Diagnósticos de Asbestosis:

1. Historia de Exposición al Asbesto:

Es esencial una exposición laboral significativa al asbesto, con un período de latencia típico de 15 a 20 años desde la primera exposición hasta la manifestación clínica de la enfermedad (37).

2. Manifestaciones Clínicas:

- ✓ Síntomas: Disnea progresiva, tos seca y, en casos avanzados, acropaquias (dedos en palillo de tambor).

- ✓ Exploración Física: Presencia de crepitantes bilaterales en las bases pulmonares.

3. Hallazgos Radiológicos:

- ✓ Radiografía de Tórax: Identificación de opacidades reticulares en las zonas inferiores de los pulmones.
- ✓ Tomografía Computarizada de Alta Resolución (TCAR): Detección de patrones de fibrosis intersticial, como panalización y bronquiectasias por tracción, especialmente en etapas tempranas o cuando la radiografía es inconclusa (37).

4. Pruebas de Función Pulmonar:

- ✓ Demostración de un patrón ventilatorio restrictivo, evidenciado por una disminución de la capacidad pulmonar total.
- ✓ Reducción de la capacidad de difusión de monóxido de carbono (DLCO), indicando alteración en el intercambio gaseoso (37).

5. Exclusión de Otras Enfermedades:

Descartar otras causas de fibrosis pulmonar, como la fibrosis pulmonar idiopática o enfermedades del tejido conectivo, mediante una evaluación clínica y diagnóstica exhaustiva.

Normativa Peruana

En Perú, el Decreto Supremo N.º 028-2014-SA aprueba el reglamento de la Ley N.º 29662, que prohíbe el uso de asbesto anfíboles y regula el uso del asbesto crisotilo en el Perú. Esta normativa establece disposiciones específicas para la manipulación, comercialización y eliminación de estos materiales, con el objetivo de proteger la salud pública y el medio ambiente (73).

A partir del 1 de julio de 2011, se prohíbe en todo el territorio nacional la posesión, elaboración, exportación, importación, distribución, manufactura y cesión, tanto gratuita como onerosa, de todas las variedades de fibras de asbesto anfíboles. Esta prohibición se basa en la clasificación de estos materiales como cancerígenos. Aunque el uso del asbesto crisotilo no está prohibido, su explotación, manufactura, importación, elaboración, distribución y comercialización están sujetas a un control estricto y permanente. Las empresas que deseen utilizar asbesto crisotilo deben obtener una autorización específica de la Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria (DIGESA). El reglamento enfatiza la implementación de medidas de seguridad para los trabajadores expuestos al asbesto crisotilo. Esto incluye la provisión de equipos de protección personal adecuados, la realización de monitoreos ambientales regulares y la capacitación continua sobre los riesgos asociados al asbesto y las prácticas seguras de manejo. Para la remoción de materiales que contienen asbesto, es obligatorio seguir procedimientos que minimicen la liberación de fibras al ambiente. El transporte y la disposición final de estos materiales deben realizarse en instalaciones autorizadas, garantizando que no representen un riesgo para la salud pública o el medio ambiente (73).

1.2.3 Neumoconiosis de los mineros del carbón

Manifestaciones Clínicas

La neumoconiosis de los mineros de carbón (NMC) puede tardar más de diez años en manifestarse y está relacionada con la exposición acumulada al polvo de carbón. Inicialmente asintomática, progresa hacia una enfermedad restrictiva que afecta el árbol traqueobronquial y genera síntomas obstructivos. En algunos casos, sigue avanzando incluso tras cesar la exposición. El diagnóstico suele darse en etapas avanzadas, con deterioro funcional significativo, lo que dificulta el tratamiento. La disnea es el síntoma más común, y la tos puede presentarse en fumadores o personas con bronquitis crónica (74).

Diagnóstico

El diagnóstico y seguimiento de la enfermedad se basan en una combinación de evaluación clínica, radiológica e historia ocupacional del paciente, se debe confirmar una exposición elevada a polvos respirables e inhalables, especialmente en actividades laborales relacionadas con la minería del carbón. Se considera que una exposición continua por al menos cinco años aumenta significativamente el riesgo de desarrollar la enfermedad (62).

En la anamnesis se debe recolectar información sobre los signos y síntomas de esta neumoconiosis; inicialmente, los pacientes pueden presentar tos persistente, disnea y, en algunos casos, esputo parcialmente pigmentado de color negro. Conforme avanza la enfermedad, puede desarrollarse hipoxemia y, en etapas avanzadas,

signos de insuficiencia cardíaca derecha debido a la sobrecarga del sistema circulatorio pulmonar.

En casos complicados, pueden aparecer alteraciones como restricción en la ventilación, obstrucción de las vías aéreas, aumento del volumen residual pulmonar y reducción en la absorción de oxígeno. En cuanto a la radiografía, en sus fases iniciales, se pueden identificar opacidades bilaterales pequeñas, de 3 mm de diámetro, en los lóbulos superiores y medios del pulmón. En algunos casos, se utiliza la tomografía computarizada de alta resolución o un examen histológico del tejido pulmonar. Este último se realiza mediante broncoscopia, permitiendo identificar pigmentos y macrófagos característicos de la enfermedad (75).

Hallazgos histopatológicos: Se caracteriza por la acumulación de pigmento negro en los pulmones, resultado del depósito de polvo de carbón. Este pigmento puede observarse tanto en la pleura como en el parénquima pulmonar, y en casos avanzados, puede generar nódulos palpables, especialmente en los lóbulos superiores.

A nivel histológico se encuentran las máculas de polvo de carbón (lesión distintiva); consisten en depósitos intersticiales de pigmento alrededor de los bronquiolos respiratorios. Suelen estar rodeadas de áreas de destrucción enfisematosa. Se pueden encontrar macrófagos con pigmento en los espacios alveolares, así como en rutas linfáticas pulmonares, incluyendo los septos interlobulares y la pleura. Además, se pueden presentar nódulos silicóticos intraparenquimatosos, similares a los observados en la silicosis, pero con una

diferencia notable: los nódulos silicóticos suelen estar rodeados por una corona de macrófagos pigmentados, otorgándoles una apariencia en "cabeza de Medusa" (35).

Normativa Americana

En los Estados Unidos, la neumoconiosis de los mineros del carbón, también conocida como enfermedad del pulmón negro, es una afección pulmonar causada por la inhalación prolongada de polvo de carbón. El diagnóstico y la vigilancia de esta enfermedad están regulados por normativas específicas que buscan su detección temprana y la prevención de su progresión.

Marco Normativo:

- Ley Federal de Salud y Seguridad en las Minas de Carbón de 1969: Esta legislación estableció el Programa de Vigilancia de la Salud de los Mineros del Carbón (CWHSP), administrado por el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH). El objetivo principal del programa es la detección precoz de la neumoconiosis en los trabajadores del carbón y la prevención de enfermedades pulmonares graves (76).
- Ley Federal de Seguridad y Salud en las Minas de 1977: Esta ley amplió las disposiciones de la legislación de 1969, reforzando los estándares de salud y seguridad en las minas y estableciendo procedimientos para la vigilancia médica de los mineros (77).

Procedimientos Diagnósticos:

- Radiografías de Tórax: Según las normativas vigentes, se recomienda que todos los mineros del carbón se sometan a una radiografía de tórax inicial al comenzar su empleo, una segunda radiografía tres años después y, posteriormente, radiografías adicionales cada cinco años durante el resto de su carrera. Estas imágenes son evaluadas utilizando el Sistema de Clasificación de Radiografías de Neumoconiosis de la Organización Internacional del Trabajo (OIT), que ayuda a identificar y describir las anomalías relacionadas con la enfermedad (76).
- Pruebas de Función Pulmonar (PFT): Estas pruebas miden la capacidad pulmonar y ayudan a detectar cualquier deterioro en la función respiratoria, complementando los hallazgos radiográficos.
- Historial de Exposición: La recopilación detallada de la historia laboral del minero es esencial para correlacionar los hallazgos clínicos y radiológicos con la exposición al polvo de carbón.

Normativa Colombiana

Marco Normativo:

- Decreto 676 de 2020: Este decreto modifica la Tabla de Enfermedades Laborales en Colombia, incluyendo la neumoconiosis del minero de carbón

como una enfermedad laboral directa. Esto implica que su diagnóstico y tratamiento están cubiertos por el sistema de riesgos laborales, garantizando atención médica y prestaciones económicas a los trabajadores afectados (78).

Procedimientos Diagnósticos:

El diagnóstico de la neumoconiosis en mineros del carbón se basa en una combinación de historia ocupacional detallada, evaluación clínica y estudios de imagen. Los principales métodos incluyen (75):

- **Historia Ocupacional:** Recopilación exhaustiva de los antecedentes laborales del trabajador, enfocándose en la duración y condiciones de la exposición al polvo de carbón.
- **Evaluación Clínica:** Identificación de síntomas respiratorios como tos crónica, disnea y producción de esputo, además de la auscultación pulmonar para detectar ruidos anormales.
- **Radiografía de Tórax:** Herramienta fundamental para detectar opacidades nodulares características de la neumoconiosis. Las imágenes deben ser interpretadas siguiendo los criterios de la Clasificación Internacional de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) para radiografías de neumoconiosis.

- Tomografía Computarizada de Alta Resolución (TCAR): Utilizada en casos donde la radiografía de tórax no es concluyente, proporcionando imágenes más detalladas del parénquima pulmonar.
- Pruebas de Función Pulmonar (espirometría): Evaluación de la capacidad respiratoria del trabajador para determinar el grado de afectación funcional.

Normativa Peruana

Marco Normativo:

- Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (Decreto Supremo N.º 024-2016-EM): Este reglamento establece las obligaciones de los empleadores en la implementación de medidas preventivas y de control para proteger a los trabajadores de riesgos ocupacionales, incluyendo la exposición a polvos minerales que pueden causar neumoconiosis. Además, promueve la realización de evaluaciones médicas periódicas para la detección temprana de enfermedades profesionales (79).
- Protocolos de Exámenes Médicos Ocupacionales y Guías de Diagnóstico de los Exámenes Médicos Obligatorios por Actividad (Resolución Ministerial N.º 312-2011/MINSA): Este documento proporciona directrices para la realización

de exámenes médicos ocupacionales, incluyendo aquellos dirigidos a la detección de neumoconiosis en trabajadores expuestos a polvo de carbón. Se enfatiza la importancia de la historia ocupacional, la evaluación clínica y el uso de estudios radiológicos adecuados (80).

Procedimientos Diagnósticos:

- Radiografía de Tórax: Es la herramienta principal para la detección de neumoconiosis. Las imágenes deben ser de alta calidad y evaluadas siguiendo los criterios establecidos por la Organización Internacional del Trabajo (OIT) para la clasificación de neumoconiosis (81).
- Pruebas de Función Pulmonar: Estas pruebas ayudan a determinar el impacto de la enfermedad en la capacidad respiratoria del trabajador, evaluando parámetros como la capacidad vital forzada (FVC) y el volumen espiratorio forzado en un segundo (FEV1).
- Historia Ocupacional Detallada: Es esencial recopilar información sobre la duración y condiciones de la exposición al polvo de carbón, así como el uso de equipos de protección personal y la implementación de medidas de control ambiental en el lugar de trabajo.

1.2.4 Beriliosis

Manifestaciones clínicas

Las manifestaciones clínicas de la **Beriliosis** son inespecíficas, con un período de latencia variable que oscila entre tres meses y 30 años tras la exposición al berilio. Los síntomas más comunes incluyen fiebre, sudoración nocturna, pérdida de peso, tos seca y fatiga. La exposición prolongada genera granulomas inflamatorios no caseosos, similares a los observados en enfermedades como tuberculosis y sarcoidosis. La Beriliosis crónica progresa hacia una enfermedad pulmonar restrictiva, caracterizada por la reducción de la capacidad de difusión pulmonar. En casos poco frecuentes, los granulomas pueden formarse en otros órganos, como el hígado. El examen físico puede evidenciar linfadenopatía, crepitaciones pulmonares, erupciones cutáneas y hepatoesplenomegalia (46,47).

Diagnóstico

El diagnóstico de beriliosis se basa en una historia clínica laboral detallada, pruebas funcionales respiratorias, estudios de imagen y exámenes toxicológicos. Se debe considerar la exposición al berilio en entornos industriales y su impacto en diferentes sistemas del cuerpo.

La anamnesis debe enfocarse en la exposición del trabajador al berilio, incluyendo: Descripción del puesto de trabajo y las actividades asociadas a la exposición, duración e intensidad de la exposición, incluyendo el inicio y el cese de contacto con el berilio, condiciones del ambiente laboral, evaluando la presencia de agentes de riesgo; uso y mantenimiento de equipos de protección personal (EPP) para valorar el nivel de seguridad en el entorno de trabajo y finalmente historial de

tabaquismo, ya que el tabaco puede representar una fuente adicional de exposición al berilio(82).

Estudios Complementarios (82)

Pruebas Funcionales Respiratorias

- Espirometría: Puede mostrar alteraciones en la función pulmonar dependiendo de la progresión de la enfermedad.

Estudios por Imagen

- Radiografía de tórax (cada dos años): Puede mostrar alteraciones pulmonares asociadas a la enfermedad crónica por berilio, incluyendo granulomatosis intersticial y fibrosis pulmonar.
- Tomografía Computarizada (TAC) de tórax: Se utiliza para confirmar el diagnóstico cuando la radiografía no es concluyente, proporcionando imágenes más detalladas del parénquima pulmonar.

Exámenes Toxicológicos y de Laboratorio

- Determinación de berilio en orina: Se recomienda tomar la muestra al finalizar la jornada laboral del último día de la semana.

- Test de sensibilización al berilio: Se realiza a través de la prueba de proliferación linfocitaria en sangre o líquido bronco-alveolar, lo que permite diferenciar la beriliosis crónica de la sarcoidosis.
- Biopsia pulmonar: Confirma el diagnóstico a nivel histológico cuando hay sospecha de enfermedad avanzada.
- Broncoscopia y lavado bronquial: Se utilizan para la detección de beriliosis en casos en los que se requiere una evaluación más profunda.

Normativas Internacionales:

- ISO 45001:2018: Esta norma internacional de gestión de seguridad y salud en el trabajo proporciona un marco para gestionar los riesgos laborales, incluyendo la exposición al berilio. Su objetivo es prevenir lesiones y enfermedades relacionadas con el trabajo mediante la implementación de controles efectivos (83).
- Directrices de la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR): La ATSDR ha publicado documentos que detallan los riesgos asociados con la exposición al berilio, incluyendo la beriliosis aguda y crónica, y ofrecen recomendaciones para minimizar dichos riesgos (84).

Normativa Peruana:

Aunque no existen normativas específicas sobre la beriliosis, el Perú cuenta con regulaciones generales en materia de salud ocupacional que abordan la exposición a sustancias peligrosas:

- Resolución Ministerial N.º 733-2024/MINSA: Esta resolución faculta a la Autoridad de Salud competente para dictar normas relacionadas con la calificación de sustancias y la protección de la salud de los trabajadores expuestos a agentes químicos, lo que incluye potencialmente al berilio (85).
- Resolución Ministerial N.º 454-2024/MINSA: Establece que todos tienen derecho a la protección de su salud y la del medio familiar y comunitario, y enfatiza la responsabilidad de contribuir a su promoción y defensa, lo que implica la implementación de medidas preventivas en entornos laborales con exposición a sustancias peligrosas (86).

1.2.5 Siderosis

Manifestaciones clínicas

La **Siderosis** es una neumoconiosis no fibrótica, caracterizada radiológicamente por la presencia de nódulos pulmonares, su manifestación más común. Generalmente, es una afección leve, aunque en su forma difusa se identifica con mayor facilidad a través de un patrón micronodulillar en la radiografía de tórax. Desde el punto de vista clínico, la exposición prolongada al polvo o humo de hierro puede causar

bronquitis crónica o síntomas inespecíficos persistentes, como tos, sibilancias ocasionales y episodios pseudogripales esporádicos. En algunos casos, se ha reportado neumotórax espontáneo, mientras que el desarrollo de fibrosis pulmonar es poco frecuente (87).

Sin embargo, en los últimos años se han documentado casos de siderosis con fibrosis intersticial sintomática. Buckell et al. investigaron la siderosis en torneros y rectificadores de hierro, sugiriendo que la fibrosis pulmonar podría desarrollarse tras más de 20 años de exposición. Por otro lado, Funahashi et al. realizaron un estudio en diez soldadores sintomáticos, donde los hallazgos patológicos mostraron algún grado de fibrosis parenquimatosa en todos los casos, siendo moderada a severa en el 50% de los participantes. Más recientemente, se han reportado casos de siderosis pulmonar sintomática asociada con fibrosis intersticial, en algunos pacientes acompañada de fibrosis masiva progresiva, consolidación y un patrón compatible con neumonía intersticial usual (88).

Diagnóstico

Para confirmar el diagnóstico, se debe considerar el historial ocupacional del paciente, verificando la exposición repetida o prolongada a polvos o humos de hierro y sus compuestos, especialmente el óxido de hierro. En caso de disponibilidad, se recomienda la medición de la concentración de estas partículas en el ambiente laboral. Se estima que un período mínimo de exposición de tres años

aumenta el riesgo de desarrollar la enfermedad, aunque no se ha establecido un período máximo de latencia (62).

Hallazgos Radiológicos: La radiografía de tórax PA muestra opacidades reticulonodulares bilaterales difusas, generalmente ubicada en lóbulos superiores. En algunos casos, las radiografías pueden mostrar un patrón reticular, mientras que en formas más avanzadas pueden aparecer micro-nódulos, con mayor prominencia en la zona peri- hilar y el tercio medio de los pulmones. A diferencia de otras neumoconiosis de colágeno, la siderosis es una forma benigna de neumoconiosis, lo que permite que algunos de sus signos radiológicos se reviertan parcialmente o desaparezcan tras cesar la exposición al polvo de hierro (34).

La tomografía computarizada de alta resolución permite una evaluación más detallada, evidenciando micro-nódulos centrilobulares mal definidos, estructuras lineales ramificadas y áreas de atenuación en vidrio esmerilado sin predominio zonal ni fibrosis. Las glándulas hiliares, aunque no suelen estar agrandadas, pueden presentar mayor densidad radiológica (62).

Pruebas Funcionales Respiratorias: Aunque no son específicas para la siderosis, resultan útiles para evaluar la disnea, diferenciar entre trastornos obstructivos y restrictivos y determinar la gravedad del daño pulmonar. En general, la exposición al polvo de hierro no suele provocar enfermedad obstructiva de las vías respiratorias. Sin embargo, el tabaquismo puede incrementar significativamente este riesgo, como se ha observado en algunos pacientes.

Técnicas Invasivas: Para casos en los que se requiere un diagnóstico más preciso, pueden emplearse técnicas invasivas como (34):

- Biopsia transbronquial o biopsia pulmonar, especialmente en casos de trastornos pulmonares difusos de origen incierto.
- Toracoscopia asistida por video (VATS), que se ha convertido en un procedimiento ampliamente utilizado tanto en el diagnóstico como en el tratamiento de enfermedades pulmonares.
- Algunos autores sugieren el uso de toracotomía y toracoscopia en casos donde la biopsia transbronquial no proporciona un diagnóstico definitivo.
- La biopsia toracoscópica ha demostrado una precisión diagnóstica del 100% en enfermedades pulmonares difusas. La resección en cuña toracoscópica es un método altamente efectivo para diagnosticar enfermedades intersticiales y parenquimatosas infiltrativas, ya que permite visualizar el parénquima pulmonar y seleccionar el mejor sitio para la toma de muestra. Además, este procedimiento minimiza el dolor postoperatorio en comparación con otros enfoques quirúrgicos.

Normativas Internacionales:

- Organización Internacional del Trabajo (OIT): La OIT incluye la siderosis en su lista de enfermedades profesionales reconocidas, recomendando a los

Estados miembros su inclusión en las legislaciones nacionales para garantizar la protección de los trabajadores expuestos (89).

- Argentina: El Decreto 658/1996 actualiza el listado de enfermedades profesionales, incorporando la siderosis como una enfermedad pulmonar crónica de tipo fibrótico, resultante de la exposición a humos y polvos de óxido de hierro en actividades como la minería y la soldadura (90).
- Colombia: El Decreto 1832 de 1994 establece el cuadro de enfermedades profesionales, mencionando la siderosis en trabajadores expuestos a polvos de óxido de hierro, como pulidores, torneros y mineros (91)

1.2.6 Talcosis

Manifestaciones clínicas

En la Talcosis los pacientes suelen ser asintomáticos, aunque se han documentado casos de fibrosis pulmonar fatal en mineros y trabajadores expuestos al talco. En personas que consumen drogas por vía intravenosa, la acumulación masiva de talco en los vasos pulmonares puede llevar al desarrollo de hipertensión pulmonar, fibrosis extensa o enfisema para cicatricial, que en algunos casos puede complicarse con neumotórax espontáneo (35).

Diagnóstico

El diagnóstico requiere una historia ocupacional confirmada de exposición prolongada a altas concentraciones de talco en el ambiente laboral. Se considera un tiempo mínimo de exposición de dos años, sin un período máximo de latencia

establecido. Los síntomas incluyen tos productiva, disnea, crepitantes, disminución de los ruidos respiratorios y una reducción en la expansión torácica. A medida que la enfermedad avanza, pueden aparecer signos más severos como cianosis y acropaquias (62).

En la radiografía de tórax, la exposición a altas concentraciones de talco, especialmente si está contaminado con asbesto, genera opacidades nodulares finas, que pueden ser redondeadas (clasificadas como ‘p’ y ‘q’) o irregulares (‘s’ y ‘t’). Desde el punto de vista histológico, se observan fibrosis y granulomas de cuerpo extraño con fibras de talco (62).

La tomografía computarizada de alta resolución en pacientes con talcosis pulmonar muestra hallazgos característicos que incluyen nódulos centrolobulillares difusos, opacidades en vidrio deslustrado y masas conglomeradas heterogéneas, las cuales contienen focos internos de alta densidad, indicativos del depósito de talco en el tejido pulmonar. Además, puede observarse enfisema, cuya distribución varía según la vía de exposición al talco (92).

En la talcosis por inhalación, el enfisema suele ser centrolobulillar o apical, mientras que, en la talcosis asociada al uso de fármacos intravenosos, predomina un patrón panlobulillar con afectación basal. Un aspecto relevante es que, en la talcosis intravenosa, los ápices pulmonares y los surcos costofrénicos suelen permanecer respetados, lo que ayuda a diferenciarla de la forma inhalatoria. La presencia de micro-nódulos distribuidos de manera centrolobulillar sugiere una

afectación a nivel bronquiolar o vascular. Asimismo, la identificación de enfisema panlobulillar en los lóbulos inferiores junto con las masas heterogéneas de alta atenuación es altamente sugestiva de talcosis pulmonar. En el caso analizado, el patrón de TC indica que la exposición se produjo por inhalación (93).

El diagnóstico definitivo de la talcosis pulmonar se confirma mediante el análisis microscópico de una muestra de tejido pulmonar, obtenida a través de una biopsia pulmonar transbronquial o a cielo abierto. Bajo luz polarizada, el talco se observa como cristales irregulares, birrefringentes y con forma de aguja, los cuales pueden encontrarse tanto dentro como fuera de los macrófagos. La distribución de la inflamación varía según la vía de exposición: en la talcosis por inhalación, la inflamación se localiza principalmente alrededor de los bronquiolos y las vías respiratorias pequeñas, mientras que en la talcosis por diseminación hematógnea (por el uso intravenoso de drogas o medicamentos contaminados con talco), la afectación es perivascular. En el caso analizado, la ubicación de los granulomas alrededor de los bronquiolos en la biopsia pulmonar sugiere que la exposición fue por inhalación, descartando la forma intravenosa (93).

Normativas internacionales

- Colombia: El Decreto 1832 de 1994 establece el cuadro de enfermedades profesionales, mencionando la talcosis como una afección resultante de la manipulación de polvos de talco. Este decreto identifica a los trabajadores de

minas de talco y yeso, así como a aquellos en las industrias papelera, textil, de la goma, cerámica y farmacéutica, como poblaciones en riesgo (91).

- Argentina: El Decreto 658/1996 aprueba el listado de enfermedades profesionales, incorporando la talcosis como una neumoconiosis resultante de la inhalación de polvos minerales. Este decreto reconoce a los trabajadores expuestos al talco como susceptibles de desarrollar esta enfermedad, enfatizando la necesidad de medidas preventivas y de control en los entornos laborales (90).

Normativa Nacional

El Ministerio de Salud ha desarrollado protocolos y guías técnicas para la evaluación médica ocupacional, donde se incluyen enfermedades pulmonares relacionadas con la exposición a polvos minerales, como la talcosis. Por ejemplo, la Norma Técnica de Salud NTS N° 068-MINSA/DGSP-V.1 establece lineamientos para la vigilancia de la salud de los trabajadores expuestos a diversos agentes, incluyendo el talco (94).

1.2.7 Estañosis

Manifestaciones clínicas

La **Estañosis** presenta síntomas como tos, disnea y sibilancias, aunque los hallazgos pueden ser poco específicos, lo que requiere estudios adicionales para descartar

otras condiciones diagnósticas. La ausencia de antecedentes de asma, el no consumo de cigarrillos y los resultados normales en las tinciones especiales para microorganismos y la tomografía computarizada de los senos paranasales hacen poco probable la existencia de enfermedades inflamatorias e infecciosas (36).

Diagnóstico

En la radiografía de tórax se observa una abundante nodulación pulmonar, caracterizada por nódulos de alta densidad con un tamaño de aproximadamente 2 a 4 mm de diámetro, distribuidos en todos los campos pulmonares. Además, es común la presencia de líneas B de Kerley, y en ocasiones pueden detectarse finas opacidades lineales en las regiones pulmonares superiores. No se evidencian grandes opacidades, y aunque los ganglios hiliares pueden presentar un aspecto radio-opaco, no muestran aumento de tamaño. Se plantea la posibilidad de que, tras la eliminación de la exposición al agente causal, algunas de estas alteraciones radiológicas puedan revertirse, aunque hasta el momento no hay evidencia concluyente que lo confirme (95).

En el estudio histológico se identifican máculas de tonalidad negro grisáceo, formadas por densos acúmulos de macrófagos cargados de polvo, localizados en las áreas peribroncovasculares y perilinfáticas, así como en los septos interlobulares. Además, se observan partículas de óxido de estaño depositadas en las paredes pulmonares, los espacios perivasculares y los ganglios linfáticos.

1.2.8 Enfermedades Pleurales Benignas

La detección de alteraciones pleurales en trabajadores expuestos a fibras de amianto suele ser un hallazgo incidental en el marco de los programas de vigilancia epidemiológica de la salud ocupacional. Esta vigilancia incluye estudios diagnósticos específicos para identificar tempranamente posibles afecciones pleurales.

Entre los exámenes obligatorios se encuentran (40):

- Radiografía de tórax con técnica OIT: Este estudio sigue los criterios de la Organización Internacional del Trabajo para la evaluación de enfermedades pulmonares relacionadas con la exposición ocupacional. La interpretación debe realizarse por un lector acreditado en esta técnica.
- Tomografía computarizada de alta resolución sin contraste: Se considera una herramienta de mayor precisión en la detección de engrosamientos pleurales, placas pleurales, fibrosis pleural difusa y atelectasia redonda, proporcionando imágenes detalladas que permiten diferenciar entre distintas patologías pleurales y evaluar su extensión.

Manifestaciones clínicas:

Placas pleurales: Aunque generalmente no tienen repercusión clínica, algunos pacientes pueden presentar una leve disminución de la capacidad vital forzada (FVC) y de la transferencia de monóxido de carbono (CO), sin evidencia de

enfermedad intersticial. Estudios recientes han sugerido la posible presencia de una alveolitis subclínica compatible con asbestosis incipiente en ciertos casos (38).

Derrame pleural benigno: Desde el punto de vista clínico, su presentación puede ser paucisintomática y solapada o manifestarse como un cuadro agudo, en ocasiones febril, acompañado de dolor pleurítico, aumento de la velocidad de sedimentación globular (VSG) y otros signos inflamatorios (40).

Fibrosis pleural difusa: A diferencia de las placas pleurales, la fibrosis pleural difusa está asociada con una afectación funcional considerable, caracterizada por un trastorno restrictivo que reduce la capacidad vital forzada y afecta de manera variable el intercambio gaseoso, con menor impacto en la transferencia de monóxido de carbono. En etapas avanzadas, algunos pacientes desarrollan insuficiencia respiratoria crónica, hipercapnia, cor-pulmonale e incluso pueden fallecer, sin evidencia de enfermedad intersticial, debido únicamente a la fibrosis pleural progresiva. Este cuadro se denomina "pulmón atrapado", y en tales casos, la decorticación pleural podría ser una opción terapéutica. Aunque la fibrosis pleural difusa es menos frecuente que las placas pleurales, su repercusión funcional es mucho más severa (38).

Atelectasia redonda: Se trata de una entidad poco frecuente y generalmente asintomática, salvo por los síntomas derivados del grado de fibrosis pleural subyacente. Su principal desafío clínico es la dificultad para diferenciarla de una

lesión tumoral cuando su apariencia no es típica. En casos de incertidumbre diagnóstica, se recomienda la extirpación quirúrgica para descartar malignidad.

Diagnóstico:

Placas pleurales: El diagnóstico de la placa pleural por asbesto se basa en la historia ocupacional de exposición a fibras de asbesto y la interpretación de la tomografía axial computarizada de tórax por un experto. Estas lesiones, ricas en colágeno y con baja celularidad, se localizan principalmente en las regiones intercostales laterales y posteriores, así como en la pleura mediastínica y diafragmática, sin afectar los ángulos costofrénicos ni las zonas apicales. Se desarrollan entre la capa elástica y la capa mesotelial de la pleura parietal. Son generalmente bilaterales, aunque no simétricas, y tienden a calcificarse con el tiempo. Las calcificaciones inician como puntos finos e irregulares, evolucionando a placas densas de 1 a 4 cm con bordes irregulares. En radiografías, pueden aparecer como imágenes suspendidas en la proyección postero anterior o como líneas densas, especialmente en la pleura diafragmática, donde adquieren un patrón lineal característico. Este patrón, en ausencia de otros antecedentes, sugiere fuertemente la exposición al asbesto. Las placas pleurales suelen detectarse incidentalmente en estudios de imagen y, en el contexto adecuado, su morfología característica permite un diagnóstico con alto grado de certeza. Su importancia clínica radica principalmente en su valor como marcador de exposición, lo que justifica la vigilancia del paciente para detectar patologías relacionadas con el asbesto que puedan tener un impacto significativo en la salud (40).

Derrame pleural benigno: La detección se realiza mediante tomografía axial computarizada de tórax observándose un aumento del ancho pleural que se extiende al menos una cuarta parte, es unilateral de predominio izquierdo. El diagnóstico es por exclusión y tras seguimiento de 1 a 3 años, descartando de esta manera el derrame pleural ocasionado por el mesotelioma (39). La biopsia pleural suele revelar una pleuritis reactiva inespecífica, y en casos excepcionales se pueden encontrar cuerpos de asbesto en el líquido pleural. En algunos pacientes, el derrame puede persistir varios meses, volverse bilateral o incluso recidivar.

El pronóstico del derrame pleural benigno por asbesto es favorable, ya que en la mayoría de los casos tiende a resolverse espontáneamente en menos de tres meses sin secuelas significativas. Su importancia radica en que es un marcador temprano de exposición al asbesto, lo que justifica la vigilancia médica a largo plazo de los trabajadores afectados (50).

Fibrosis pleural difusa: La detección de la fibrosis pleural difusa se realiza principalmente a través de una tomografía axial computarizada (TAC) de tórax, donde se observa un engrosamiento pleural de bordes irregulares y mal definidos, con una extensión que supera los cuatro espacios intercostales. Es común que la fibrosis se propague a través de las cisuras pulmonares, lo que contribuye a su patrón característico en las imágenes. A diferencia de las placas pleurales, las

lesiones en la fibrosis pleural difusa rara vez se calcifican, lo que ayuda a diferenciar ambas entidades en los estudios radiológicos (40).

Atelectasia redonda: Para diferenciar la atelectasia redonda de otras lesiones pulmonares, como neoplasias, se deben considerar hallazgos radiológicos como su forma en cuña o redondeada, el engrosamiento pleural circundante y la pérdida de volumen del lóbulo pulmonar afectado. Aunque teóricamente puede presentarse en fibrosis pleural de cualquier causa, en la práctica, la mayoría de los casos están vinculados a fibrosis pleural secundaria a la exposición al asbesto, ya sea en forma de fibrosis pleural difusa o placas pleurales extensas (38).

1.3 Protocolos y Programas de Salud Ocupacional para la Prevención de la Neumoconiosis y Enfermedades Pleurales

Las patologías por inhalación de polvos en el ambiente laboral siguen siendo un problema debido a la falta de control en algunas industrias, ya sea por incumplimiento de normativas, desconocimiento de los riesgos o resistencia a invertir en seguridad laboral. Además, la aplicación inconsistente de regulaciones y la falta de acceso a equipos de protección y monitoreo de salud agravan la exposición a agentes nocivos, especialmente en sectores con empleo informal o precario (96).

Desde que se descubrió la neumoconiosis en el siglo XIX, la prevención de enfermedades y riesgos laborales ha estado enfocada en medidas de control destinadas a limitar y reducir los peligros asociados con la exposición al polvo en

el entorno de trabajo. Siguiendo esta línea, el Comité Conjunto de Salud Ocupacional de la Organización Internacional del Trabajo y la Organización Mundial de la Salud creó el “Programa Global para la Eliminación de la Silicosis”, tras las recomendaciones de la 12ª Sesión de 1995, en la que se instó a los líderes mundiales a reforzar la prevención de esta enfermedad (97).

En este contexto, el uso de asbesto y el arenado han sido prohibidos en muchos países. Sectores como la industria textil, específicamente la del arenado de jeans, se han unido voluntariamente a este movimiento de prohibición.

A pesar de los esfuerzos y políticas de salud pública implementadas en las últimas décadas, el número de nuevos casos ha seguido en aumento a nivel mundial. Comprender estos patrones y tendencias temporales es clave para distribuir mejor los recursos sanitarios y fortalecer las estrategias de prevención de manera eficaz. Si solo se analiza el número total de casos de neumoconiosis sin diferenciar entre sus distintos tipos, es posible que se pasen por alto tendencias importantes, lo que puede dificultar la implementación de medidas preventivas adecuadas. Por ello, es fundamental estudiar con precisión la incidencia de cada tipo de neumoconiosis y su evolución a lo largo del tiempo para diseñar estrategias de prevención más efectivas (98).

Un factor que podría explicar la tendencia creciente de la neumoconiosis es que, aunque ha habido avances en la concienciación y en las medidas de protección

individual, estos esfuerzos aún no han sido suficientes para frenar la aparición de nuevos casos. Un ejemplo de mejora en la vigilancia epidemiológica es el Sistema de Notificación Directa de Enfermedades Ocupacionales, implementado en China en 2006, que ha permitido un mejor monitoreo de estas enfermedades (99).

Así mismo, la experiencia de Australia con la reducción del uso de asbesto y el fortalecimiento del monitoreo, diagnóstico, tratamiento y compensación para los afectados, ofrece enseñanzas valiosas para otros países que aún utilizan este material. Seguir este modelo podría acelerar los avances en la prevención de la asbestosis y contribuir al cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) N°8, que promueve el empleo pleno y productivo, así como condiciones de trabajo decentes para todos (98).

Por otro lado, en 2023 se creó el Observatorio Internacional de Neumoconiosis, cuyo objetivo es concienciar a trabajadores y empleadores sobre los efectos nocivos de la exposición a polvos neumoconiógenos. La iniciativa reúne a expertos de 24 países para recopilar información y generar conocimiento científico que sustente medidas preventivas efectivas. Además, busca visibilizar la prevalencia de estas enfermedades y proporcionar evidencia para la formulación de estrategias de prevención. También se enfatiza la necesidad de una participación de los gobiernos en la regulación y protección de los trabajadores, mediante normativas claras que fomenten entornos laborales seguros sin comprometer la sostenibilidad de las empresas (96).

1.3.1 Protocolos de Prevención

Los protocolos de salud ocupacional para la prevención de la neumoconiosis y enfermedades pleurales incluyen medidas de control ambiental, monitoreo médico y capacitación del personal. Entre los principales protocolos destacan:

Evaluación y control de la exposición

- ✓ Identificación de fuentes de exposición a polvos neumoconiógenos.

Se deben realizar estudios ambientales detallados para detectar fuentes generadoras de polvo en el ambiente laboral. Esto implica la recolección de muestras en distintas zonas de trabajo y el análisis de partículas en laboratorios especializados. Se utilizan métodos de monitoreo continuo con dispositivos como el gravimétrico de filtro y el contador de partículas en tiempo real y se realizan mediciones para asegurar que el flujo de aire y los sistemas de extracción de polvo sean efectivos (100).

Los estándares internacionales, como los establecidos por la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional y el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional, establecen límites permisibles de exposición (101,102).

Para proteger la salud de los trabajadores, varios países han adoptado límites de exposición a contaminantes en el aire del ambiente laboral, definidos como valores promedio ponderados en 8 horas diarias, 40 horas semanales; sin

efectos adversos para la salud (TLV-TWA: Threshold Limit Value - Time Weighted Average) (62):

- Sílice respirable: 0.025mg/m³
- Asbesto: 0.1 fibras/cm³
- Talco sin fibras de asbesto: 2mg/m³
- Carbón antracita: 0.4 mg/m³
- Carbón bituminoso o lignito: 0.9 mg/m³
- Estaño: 2mg/m³
- Óxido de Hierro: 5mg/m³

Estos valores, establecidos por organizaciones como la ACGIH (Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales), ofrecen una referencia para la regulación de la exposición ocupacional y la protección de los trabajadores.

✓ Implementación de medidas de control

La producción de polvo es inevitable en diversas actividades industriales, como la trituración y corte de rocas. Sin embargo, las estrategias de prevención buscan minimizar la exposición mediante el uso de abrasivos industriales alternativos que no contengan sílice. En industrias de gran escala, como la minería y la construcción de túneles, los trabajadores pueden operar de manera

remota, utilizando cabinas cerradas con aire filtrado. Para aquellos que deben trabajar cerca de fuentes de polvo, como en corte de piedra, arenado localizado y remoción de asbesto, se recomienda el uso de técnicas húmedas y equipos de protección respiratoria adecuados. Sin embargo, el uso de respiradores no debe sustituir la reducción de la concentración de asbesto en el aire (62).

El control de la contaminación ambiental en el lugar de trabajo se basa en la ventilación adecuada, tanto local como general, y en la instalación de sistemas de extracción de polvo. Se debe realizar un mantenimiento regular de los conductos de ventilación en las máquinas de molienda, pulido y en las bandas de acabado, asegurando su eficacia en la eliminación de partículas suspendidas. La instalación de ventilación mecánica con filtros de alta eficiencia y sistemas de extracción localizada ayuda a reducir la concentración de partículas en suspensión. Se emplean métodos de control del polvo mediante la aplicación de agua o productos químicos que evitan la dispersión de partículas. En algunos entornos laborales, es necesario sellar fuentes de polvo para evitar la liberación de partículas en el aire. Se establecen áreas restringidas y protocolos de acceso controlado en zonas de alto riesgo para minimizar la exposición de los trabajadores (62).

En el caso de la siderosis, una medida clave es la separación física de los trabajadores de las áreas donde se genera el polvo, lo que puede lograrse mediante el uso de cercas de seguridad y el control remoto de la maquinaria.

En la industria siderúrgica moderna, la automatización y el control computarizado de los procesos han contribuido significativamente a minimizar la exposición (62).

Al controlar los polvos, se utiliza la jerarquía de control de riesgos:

1. Eliminación del uso del material peligroso: Implica sustituir el producto por otro que no represente un peligro respiratorio, como reemplazar materiales que contienen sílice por alternativas menos tóxicas en la construcción y manufactura.
2. Sustitución por una forma más segura del producto: Cuando no es posible eliminar completamente el material, se recomienda usar una presentación menos peligrosa, como pastas, líquidos o granulados en lugar de polvos secos, reduciendo la cantidad de partículas en el aire y minimizando la inhalación por parte de los trabajadores. Para reducir la exposición, se han desarrollado materiales alternativos como: Espumas de poliuretano, fibras de celulosa, harinas de relleno (harina de cáscara de nuez, trigo, arroz, ceniza de cascarilla de arroz) o plásticos termo-endurecibles y telas de sílice amorfa (62).
3. Modificación del proceso para reducir la emisión de polvo: Adaptar los procedimientos de trabajo para minimizar la generación de polvo es una estrategia efectiva. Esto incluye el uso de técnicas de corte y perforación en

húmedo, la automatización de procesos para limitar la manipulación manual de materiales y la optimización de métodos de limpieza que eviten la dispersión de partículas, como la aspiración con filtros HEPA en lugar de barrido en seco (103).

4. Encerramiento del proceso o extracción localizada de polvo: Confinar las fuentes de emisión de polvo dentro de cabinas selladas o utilizar sistemas de ventilación con extracción localizada reduce significativamente la exposición. Estos sistemas capturan el polvo en el punto de origen antes de que se disperse en el ambiente, evitando que los trabajadores respiren partículas nocivas.
5. Reducción del número de trabajadores expuestos: Otra estrategia de control es limitar la cantidad de empleados en áreas de alto riesgo. La implementación de rotaciones laborales, el uso de barreras físicas y la automatización de tareas peligrosas pueden disminuir la exposición prolongada y reducir la incidencia de enfermedades pulmonares ocupacionales (62).
6. Brindar equipo de protección personal.

✓ Uso obligatorio de equipos de protección personal

Se deben utilizar equipos de protección personal, incluyendo guantes, ropa a prueba de polvo, gafas de seguridad y, en casos de alta exposición, protección respiratoria adecuada. Además, es crucial que los trabajadores adopten medidas estrictas de higiene personal, como evitar el consumo de alimentos y bebidas en las áreas de trabajo y contar con instalaciones sanitarias apropiadas para lavarse antes de comer o al finalizar la jornada laboral (62).

Los trabajadores expuestos deben usar mascarillas aprobadas por organismos de salud ocupacional como NIOSH, con filtros N95, P100 u otros adecuados para partículas finas. Los respiradores filtrantes funcionan en condiciones de aire ambiental, eliminando sustancias nocivas antes de que lleguen al usuario. Para su uso, es necesario que: Sea técnicamente viable filtrar las sustancias peligrosas, el contenido de oxígeno del aire sea mínimo del 17% y que las sustancias peligrosas sean conocidas y detectables (por olor o sabor). Se debe garantizar que los trabajadores sepan cómo ajustar y mantener correctamente su equipo de protección respiratoria. Además, se deben implementar auditorías y revisiones periódicas para asegurar el uso constante y adecuado del equipo de protección (104).

Vigilancia médica y monitoreo de la salud

El monitoreo de la salud de los trabajadores expuestos a agentes neumoconiógenos es una estrategia clave en la prevención y detección temprana de enfermedades pulmonares ocupacionales. La vigilancia médica implica un seguimiento regular,

evaluaciones clínicas y pruebas complementarias que permitan identificar cambios en la función respiratoria antes de que la enfermedad avance (105).

Uno de los aspectos fundamentales de la vigilancia médica es la realización de exámenes médicos pre-ocupacionales. Antes de iniciar labores en un entorno con exposición a polvo, se debe evaluar la salud respiratoria del trabajador mediante pruebas de función pulmonar, radiografías de tórax y una historia clínica detallada. Esto permite establecer una línea base y determinar si el trabajador es apto para desempeñar sus funciones en un ambiente de riesgo (106).

Por ejemplo, en muchos países, los trabajadores expuestos al asbesto son monitoreados mediante programas de vigilancia médica. Estas evaluaciones incluyen: Historial de exposición y enfermedad, pruebas de función pulmonar y radiografías de tórax y tomografías computarizadas. Estos programas buscan detectar enfermedades no malignas relacionadas con el asbesto, reducir la exposición actual, incentivar el cese del tabaquismo, fomentar la vacunación contra la gripe y mejorar el conocimiento sobre la salud respiratoria. No obstante, se debe evaluar el riesgo-beneficio de la radiación en estos seguimientos (62).

Las evaluaciones periódicas son esenciales para monitorear la evolución de la salud pulmonar de los empleados expuestos. Estas incluyen pruebas de espirometría para medir la capacidad pulmonar, radiografías de tórax para detectar posibles anomalías y análisis de gases en sangre para evaluar la oxigenación. Dichos controles deben

realizarse con una frecuencia acorde al nivel de exposición y al tiempo de trabajo en condiciones de riesgo. Además, los cuestionarios de salud ocupacional ayudan a identificar síntomas tempranos que podrían pasar desapercibidos en evaluaciones médicas generales (76).

El registro y seguimiento de casos es una parte crucial del programa de vigilancia médica. Se debe contar con un sistema centralizado de información en el que se almacenen los historiales médicos de los trabajadores expuestos, permitiendo un análisis continuo de tendencias y patrones de enfermedad. La detección oportuna de cambios en la función pulmonar permite la implementación de medidas preventivas, cambios en las condiciones laborales y, en casos necesarios, la reubicación de trabajadores para reducir la progresión de la enfermedad (107,108).

Los programas de vacunación complementan la vigilancia médica al prevenir complicaciones respiratorias secundarias en trabajadores con exposición crónica a polvos neumoconiógenos. La vacunación contra la influenza y el neumococo es altamente recomendada para reducir la probabilidad de infecciones respiratorias que puedan agravar enfermedades pulmonares preexistentes. Asimismo, en entornos de trabajo con exposición a agentes biológicos, se pueden considerar inmunizaciones adicionales según los riesgos específicos del sector (109).

El acceso a tratamiento y rehabilitación es un componente esencial para aquellos trabajadores que desarrollan enfermedades respiratorias relacionadas con la exposición laboral. La detección temprana permite implementar estrategias de

rehabilitación respiratoria, que incluyen fisioterapia pulmonar, entrenamiento en técnicas de respiración y programas de ejercicio adaptado para mejorar la capacidad funcional del trabajador. Además, el apoyo psicológico y la asesoría laboral son cruciales para facilitar la adaptación de los afectados a nuevas condiciones de vida y trabajo (110).

Capacitación y concienciación

La capacitación y la concienciación de los trabajadores son estrategias clave en la prevención de enfermedades respiratorias laborales, ya que permiten reducir los riesgos de exposición y fomentar una cultura de seguridad en los entornos laborales. La implementación de programas de formación, el uso adecuado de equipos de protección personal y la participación de los trabajadores en la identificación de peligros contribuyen a minimizar la incidencia de la neumoconiosis y enfermedades pleurales.

Uno de los primeros pasos en la capacitación es el desarrollo de programas de formación estructurados que aborden los riesgos de la exposición a polvos neumoconiógenos y las medidas preventivas a seguir. Estos programas deben incluir sesiones teóricas y prácticas, adaptadas a las necesidades de cada sector industrial. Es recomendable que las capacitaciones sean impartidas por expertos en salud ocupacional y que se actualicen periódicamente para incorporar los últimos avances en prevención y control de enfermedades ocupacionales (111).

El entrenamiento en el uso de equipos de protección personal es fundamental para garantizar la seguridad de los trabajadores. Se debe capacitar a los empleados sobre la correcta selección, uso y mantenimiento de mascarillas, respiradores y otros dispositivos de protección respiratoria. Además, es esencial verificar que los trabajadores comprendan la importancia del ajuste adecuado de los respiradores y la necesidad de reemplazar los filtros de acuerdo con las recomendaciones del fabricante (112).

El fomento de una cultura de seguridad en el trabajo implica la participación activa de los trabajadores en la identificación y reporte de condiciones de riesgo. Para ello, es útil establecer mecanismos de comunicación efectiva entre empleados y empleadores, como buzones de sugerencias, reuniones periódicas de seguridad y la designación de comités de salud ocupacional. La promoción de buenas prácticas de seguridad debe ir acompañada de incentivos para los trabajadores que cumplan con las normativas y participen en actividades preventivas (105).

El desarrollo de material educativo accesible y comprensible es otra estrategia clave en la concienciación sobre la prevención de enfermedades ocupacionales. Se deben elaborar manuales, carteles informativos y videos educativos que expliquen de manera clara los riesgos de la exposición a agentes neumoconiógenos y las medidas de protección adecuadas. Es importante que este material esté disponible en diferentes formatos y en el idioma predominante de los trabajadores para garantizar su comprensión.

Para garantizar la efectividad de los programas de capacitación y concienciación, es fundamental evaluar su impacto, se deben recopilar datos sobre la asistencia y participación de los trabajadores en las capacitaciones, así como realizar pruebas de conocimientos antes y después de las sesiones para evaluar el nivel de aprendizaje (113).

1.3.2 Programas de Salud Ocupacional

Los programas de salud ocupacional dirigidos a la prevención de la neumoconiosis y enfermedades pleurales deben ser integrales y sostenibles. Algunas estrategias clave incluyen:

Implementación de normas y regulaciones

La implementación de normas y regulaciones en salud ocupacional es un pilar fundamental para la prevención de la neumoconiosis y enfermedades pleurales. Las regulaciones establecen los estándares mínimos que las empresas deben cumplir para garantizar la seguridad y salud de los trabajadores expuestos a polvos neumoconiógenos. Estas normativas deben ser respaldadas por organismos gubernamentales y aplicadas en todas las industrias de riesgo.

Uno de los primeros pasos en la implementación de normas es la adopción de estándares internacionales, como los establecidos por la Organización Internacional del Trabajo. Estos estándares proporcionan directrices basadas en la evidencia

científica más reciente para la prevención de enfermedades ocupacionales. Además, cada país debe contar con regulaciones locales que adapten estas directrices a sus condiciones específicas de trabajo y que sean de cumplimiento obligatorio (114,115).

Para asegurar la correcta aplicación de las normativas, es esencial la realización de inspecciones y auditorías periódicas en los lugares de trabajo. Las autoridades de salud ocupacional deben llevar a cabo evaluaciones programadas y aleatorias para verificar el cumplimiento de las medidas de prevención. En caso de incumplimiento, se deben imponer sanciones a las empresas que no respeten las regulaciones y poner en marcha planes de corrección inmediata (116).

El desarrollo de políticas internas en las empresas también juega un papel crucial en la implementación de normas. Las organizaciones deben elaborar protocolos específicos para la reducción de la exposición a polvos peligrosos, la provisión de equipos de protección personal adecuados y el acceso a monitoreo médico regular para sus empleados. Estas políticas deben estar alineadas con las normativas nacionales e internacionales y ser revisadas y actualizadas periódicamente (40).

Otro aspecto clave en la implementación de normas y regulaciones es la capacitación de los empleadores y trabajadores sobre sus derechos y responsabilidades en materia de salud ocupacional. Se deben organizar sesiones informativas sobre las normativas vigentes, los procedimientos de seguridad a

seguir y las consecuencias del incumplimiento. La sensibilización de los trabajadores en torno a la importancia del cumplimiento de las normas es fundamental para garantizar su efectividad en el largo plazo (116).

El monitoreo del impacto de la regulación es esencial para determinar la efectividad de las normas implementadas. Se deben establecer indicadores de salud ocupacional que permitan medir la reducción de la exposición a polvos neumoconiógenos y la disminución de casos de enfermedades pulmonares en los trabajadores. A partir de estos datos, se pueden realizar ajustes en las normativas y fortalecer las estrategias de prevención (14).

Implementación de programas preventivos y su impacto consecuente

En China, en el marco de la iniciativa "China Saludable 2030", se han mejorado las leyes y regulaciones relacionadas con la salud ocupacional, estableciendo sistemas más robustos para el registro y notificación de enfermedades profesionales. Se han actualizado los criterios de clasificación y diagnóstico de la neumoconiosis. Así mismo, se han implementado procedimientos de gestión más estrictos en los lugares de trabajo, enfocándose en la reducción de la exposición al polvo y en la promoción de prácticas laborales seguras. En cuanto a los trabajadores, se ha incrementado el soporte técnico y las capacidades científicas, ofreciendo capacitación especializada a los trabajadores y empleadores sobre medidas preventivas y de control. Finalmente se ha ampliado la cobertura de seguros por lesiones industriales y las provisiones de seguridad social. Estas iniciativas han contribuido a una mayor

conciencia sobre la neumoconiosis y a la implementación de medidas preventivas más efectivas en los lugares de trabajo. La adopción de estas estrategias ha sentado las bases para una mejor prevención y tratamiento, alineándose con los objetivos de la iniciativa "China Saludable 2030" (117).

La vigilancia epidemiológica es un método clave de prevención. Esto se demuestra en un estudio realizado en EE. UU donde se analizó la prevalencia de neumoconiosis entre los mineros de carbón a cielo abierto que participaron en el Programa de vigilancia de la salud desde su incorporación hasta 2019. Se incluyeron trabajadores que realizaron radiografías de tórax entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de diciembre de 2019. Se recolectó información sobre datos demográficos, tiempo de trabajo en minería, ocupación y clasificaciones radiográficas según los criterios de la Organización Internacional del Trabajo. Se identificaron 109 casos de neumoconiosis (1,6% de los mineros evaluados), de los cuales 12 trabajadores presentaron fibrosis masiva progresiva. Se observó que los mineros de la región de los Apalaches Centrales tenían un riesgo 3,2 veces mayor de padecer neumoconiosis en comparación con otras zonas (IC del 95%: 2,2-4,7). Asimismo, los perforadores y voladores presentaban un riesgo 2,1 veces superior al de otros trabajadores mineros (IC del 95%: 1,3-3,5). Se concluyó que la presencia de neumoconiosis en los mineros de carbón a cielo abierto justifica la necesidad de mantener su inclusión en los programas de vigilancia de salud respiratoria (118).

Así mismo, en 2021 se desarrolló una estrategia en Colombia, para prevenir la silicosis en los sandblasteros de la empresa Tecniblast S.A.S, quienes están expuestos de manera constante a las partículas de polvo de sílice. Esta investigación se llevó a cabo en cuatro fases, entre mayo y octubre de 2021. Se seleccionó una muestra de seis trabajadores contratados como sandblasteros. En primer lugar, se les aplicó una encuesta sobre su salud y el diagnóstico de posibles patologías relacionadas con la silicosis, en la que se indagó sobre el tiempo de antigüedad en el cargo, las actividades realizadas durante la jornada laboral, los hábitos de vida saludable, las incapacidades médicas, entre otros aspectos. Luego, se revisaron los resultados de los exámenes médicos ocupacionales y las incapacidades médicas de los participantes, detectándose algunas patologías vinculadas con la silicosis. A partir de estos hallazgos, se diseñó un programa de vigilancia epidemiológica orientado a prevenir la silicosis en estos trabajadores, y se ofrecieron recomendaciones para seguir su estado de salud. Finalmente, se establecieron indicadores para realizar un seguimiento del cumplimiento de las medidas preventivas incluidas en el programa. Se concluyó que el programa de vigilancia epidemiológica monitorea la salud de los trabajadores, fomenta hábitos de vida saludables y evalúa su conocimiento sobre los riesgos químicos y la exposición al polvo de sílice. Es esencial que los trabajadores practiquen autocuidado y usen adecuadamente los EPP, lo que reduce la exposición al polvo de sílice (119).

El Plan Nacional para la Erradicación de la Silicosis en Perú al 2030 tiene como objetivo reducir y prevenir la exposición a la sílice cristalina en trabajadores,

especialmente en sectores como minería y construcción. La metodología se basa en la implementación de medidas preventivas, monitoreo ambiental y vigilancia de la salud. Se propone establecer regulaciones más estrictas, mejorar la educación y capacitar a los trabajadores para minimizar los riesgos de silicosis. Se espera reducir significativamente los casos de esta enfermedad mediante el control efectivo y la prevención en los entornos laborales (120). Cabe resaltar, que un estudio peruano, determinó la prevalencia de enfermedades ocupacionales en la minería durante el periodo 2011-2020, donde se obtuvo una prevalencia de 4.94% para las neumoconiosis y se estimó la siguiente distribución a través de los años (121):

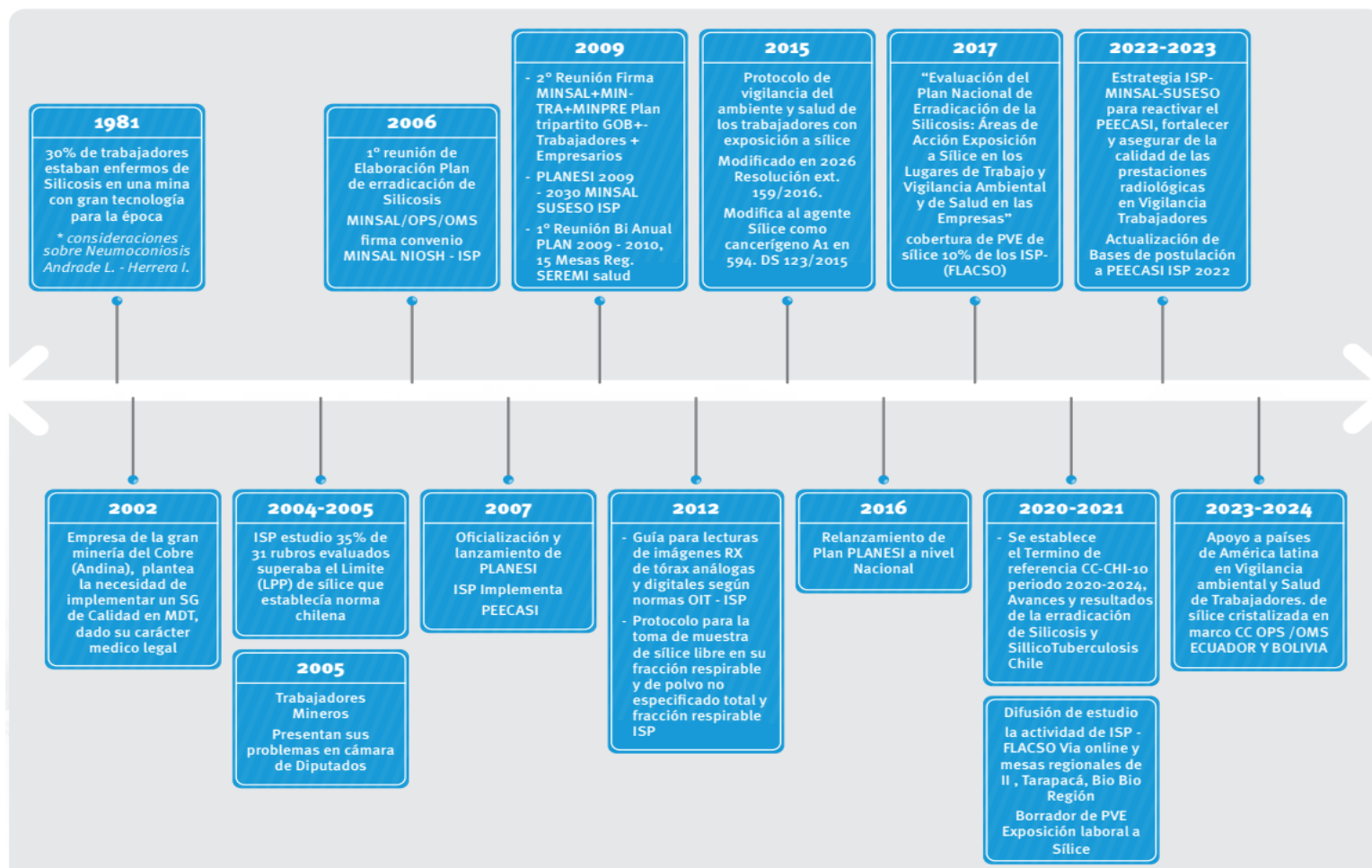
TABLA 1. ENFERMEDADES OCUPACIONALES EN MINERÍA EN EL PERÚ DURANTE EL 2011 – 2020.											
Enfermedad Ocupacional	2011 n (%)	2012 n (%)	2013 n (%)	2014 n (%)	2015 n (%)	2016 n (%)	2017 n (%)	2018 n (%)	2019 n (%)	2020 n (%)	Total n (%)
Hipoacusia	938 (2.61)	6364 (17.73)	4790 (13.35)	4492 (12.52)	6414 (17.87)	2639 (7.35)	3505 (9.77)	3532 (9.84)	3098 (8.64)	119 (0.33)	35891 (100)
Neumoconiosis	237 (12.64)	452 (24.11)	312 (16.64)	267 (14.24)	277 (14.77)	55 (2.93)	135 (7.20)	77 (4.11)	63 (3.36)	0	1875 (100)
Intoxicación con mercurio	11 (91.66)	0	0	0	0	0	0	0	0	1 (8.40)	12 (100)
Efecto tóxico: magnesio y sus compuestos	0	0	0	0	0	0	6 (54.54)	4 (36.36)	1 (9.1)	0	11 (100)
Dermatitis	0	5 (55.55)	4 (44.45)	0	0	0	0	0	0	0	9 (100)
Otros	15 (14.85)	12 (11.88)	38 (37.62)	9 (81.81)	17 (16.83)	0	3 (2.97)	1 (0.99)	5 (4.95)	1 (0.99)	101 (100)
Total	1201 (3.17)	6833 (18.02)	5144 (13.57)	4768 (12.58)	6708 (17.70)	2694 (7.11)	3649 (9.63)	3614 (9.54)	3167 (8.36)	121 (0.32)	37899 (100)

Extraído de “Enfermedades ocupacionales en minería en el Perú, 2011 – 2020”

(121).

Como se observa, existe una disminución en los casos de neumoconiosis, posiblemente atribuible a la implementación de programas y planes preventivos.

Por otro lado, el Instituto de Salud Pública (ISP) de Chile ha apoyado el desarrollo de la iniciativa regional para erradicar la silicosis y la silicotuberculosis (2000-2024). A través de su rol como Centro Colaborador de la OPS/OMS, ha impulsado actividades de vigilancia en salud ocupacional, implementando programas nacionales como el Plan Nacional de Erradicación de Silicosis (PLANESI). La metodología incluye estudios epidemiológicos y protocolos de vigilancia ambiental y de salud, destacando avances como la sensibilización regional y la colaboración internacional. Como ejemplo de las actividades de divulgación, se ha logrado la colaboración con las embajadas de cooperación internacional de países como Bolivia y Ecuador, llevando a cabo los talleres titulados “Riesgo de Exposición a Sílice: Panorama Regional y Estrategia de Prevención” (2023) y “Taller Vigilancia de Ambientes y Vigilancia en Salud de Trabajadores Expuestos a Sílice Cristalizada” (2024). Ambas actividades se realizaron en línea, con talleres organizados en módulos, y contaron con la participación de más de 50 profesionales en Salud Ocupacional de ambos países, quienes fueron designados por sus respectivos ministerios de salud. El ISP continúa como referente en la prevención y control de estas enfermedades en América Latina (122). En la siguiente línea de tiempo se pueden evidenciar la evaluación del manejo de silicosis en Chile:



*Gráfico extraído del Boletín de Salud Ocupacional – REDSOCHI 2024 (122).

II. CONCLUSIONES

1. A pesar de los avances en la prevención y regulación de la exposición a polvos, la incidencia y prevalencia de la neumoconiosis y enfermedades pleurales benignas continúan en aumento. Esto se debe, en parte, a la aplicación inconsistente de normativas, la resistencia de algunas industrias a invertir en medidas de seguridad y la falta de acceso a equipos de protección adecuados.
2. La exposición prolongada a polvos inorgánicos no solo causa enfermedades pulmonares crónicas, sino que también tiene un impacto significativo en la calidad de vida de los trabajadores, reduciendo su capacidad laboral y aumentando los costos en salud pública y seguridad social. Esto hace necesario un enfoque integral que combine prevención, tratamiento y rehabilitación.
3. La detección temprana a través de exámenes de salud ocupacional es fundamental para evitar complicaciones severas. Programas de monitoreo, como la espirometría periódica y las radiografías de tórax, han demostrado ser herramientas eficaces para identificar signos iniciales de daño pulmonar.

4. La educación de los trabajadores sobre los riesgos de la exposición, el uso correcto de equipos de protección personal y la adopción de buenas prácticas en el lugar de trabajo son fundamentales para reducir la incidencia de enfermedades respiratorias ocupacionales.
5. Los trabajadores afectados requieren acceso a tratamientos médicos y programas de rehabilitación respiratoria para mejorar su calidad de vida y mantener su capacidad laboral.

III. RECOMENDACIONES

1. Es necesario que los gobiernos establezcan y apliquen regulaciones más estrictas sobre la exposición a polvos neumoconiógenos, asegurando su cumplimiento mediante inspecciones regulares y sanciones a las empresas que incumplan las normativas.
2. Se recomienda la implementación de exámenes médicos pre-ocupacionales y evaluaciones periódicas para monitorear la salud pulmonar de los trabajadores expuestos, priorizando aquellos sectores de mayor riesgo, como la minería, la construcción y la manufactura.
3. Se recomienda recopilar datos sobre la incidencia y prevalencia de enfermedades neumoconiógenas en distintas regiones, lo que permitirá diseñar estrategias de prevención más efectivas y adaptadas a las realidades locales.
4. Se recomienda desarrollar programas de formación continua sobre prevención de riesgos laborales, uso adecuado de equipos de protección personal y medidas de control de la exposición.
5. Se recomienda garantizar servicios especializados en neumología y programas de rehabilitación respiratoria para los trabajadores diagnosticados con neumoconiosis, facilitando también su reinserción laboral en caso de discapacidad parcial.

IV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Cummings KJ, Johns DO, Mazurek JM, Hearl FJ, Weissman DN. NIOSH's Respiratory Health Division: 50 years of science and service. *Arch Environ Occup Health*. 2019;74(1–2):15–29.
2. Bell JL. Trends in Pneumoconiosis Deaths — United States, 1999–2018. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* [Internet]. 2020 [citado el 10 de enero de 2025];69. Disponible en: <https://www.cdc.gov/mmwr/volumes/69/wr/mm6923a1.htm>
3. Girardi P, Rigoni S, Ferrante D, Silvestri S, Angelini A, Cuccaro F, et al. Asbestos exposure and asbestosis mortality in Italian cement-asbestos cohorts: Dose-response relationship and the role of competing death causes. *Am J Ind Med*. septiembre de 2024;67(9):813–22.
4. Menant M, Benlala I, Thaon I, Andujar P, Julia B, Brochard P, et al. Relationships between asbestos exposure and pleural plaques: dose and time effects using fractional polynomials. *Occup Environ Med*. el 1 de junio de 2024;81(6):313–9.
5. León-Jiménez A, Manuel JM, García-Rojo M, Pintado-Herrera MG, López-López JA, Hidalgo-Molina A, et al. Compositional and structural analysis of engineered stones and inorganic particles in silicotic nodules of exposed workers. *Part Fibre Toxicol*. el 22 de noviembre de 2021;18(1):41.
6. Loss M, McCauley G, Carlsten C. Berylliosis in a 56-year-old welder. *CMAJ Can Med Assoc J*. el 4 de diciembre de 2023;195(47):E1622–6.
7. Hayashi F, Kido T, Sakamoto N, Zaizen Y, Ozasa M, Yokoyama M, et al. Pneumoconiosis with a Sarcoid-Like Reaction Other than Beryllium Exposure: A Case Report and Literature Review. *Medicina (Mex)*. noviembre de 2020;56(11):630.
8. Cool CD, Murray J, Vorajee NI, Rose CS, Zell-Baran LM, Sanyal S, et al. Pathologic Findings in Severe Coal Workers' Pneumoconiosis in Contemporary US Coal Miners. *Arch Pathol Lab Med*. el 18 de octubre de 2023;148(7):805–17.
9. Beigoli S, Amin F, Kazemi Rad H, Rezaee R, Boskabady MH. Occupational respiratory disorders in Iran: a review of prevalence and inducers. *Front Med* [Internet]. el 8 de febrero de 2024 [citado el 30 de enero de 2025];11. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/journals/medicine/articles/10.3389/fmed.2024.1310040/full>

10. Sonwani S, Madaan S, Arora J, Suryanarayan S, Rangra D, Mongia N, et al. Inhalation Exposure to Atmospheric Nanoparticles and Its Associated Impacts on Human Health: A Review. *Front Sustain Cities* [Internet]. el 18 de agosto de 2021 [citado el 30 de enero de 2025];3. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/journals/sustainable-cities/articles/10.3389/frsc.2021.690444/full>
11. Gaviola S, Martín V, Rodríguez E del P, Sapoznik MM. Guía de actuación y diagnóstico : Neumoconiosis laboral [Internet]. 2018 [citado el 31 de enero de 2025]. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/guia_de_actuacion_y_diagnostico_-_neumoconiosis_laboral_0.pdf
12. Boldú J, Eguía VM. Enfermedades pleurales benignas inducidas por asbesto. *An Sist Sanit Navar*. 2005;28:21–7.
13. Goldyn SR, Condos R, Rom WN. The Burden of Exposure–Related Diffuse Lung Disease. *Semin Respir Crit Care Med*. diciembre de 2008;29(6):591–602.
14. Guillén AL, León-Jiménez A, Delgado-García D, López-López A. La necesidad de un Observatorio Internacional de Neumoconiosis en 2025. *Arch Prev Riesgos Laborales*. el 15 de enero de 2025;28(1):89–98.
15. Penteado JO, Peres TG, Ramires PF, de Lima Brum R, da Silva Freitas L, Volcão LM, et al. Trends in pneumoconiosis in Brazil, 1979–2019. *Occup Med*. el 1 de julio de 2022;72(6):386–93.
16. Cardona-Palacio A, Palacio-Toro MA, Vélez-Arango I, García CP. Silicoproteínosis en paciente minero en Colombia. Reporte de caso. *Med Lab*. el 5 de mayo de 2023;27(2):123–9.
17. Yang M, Wang D, Gan S, Fan L, Cheng M, Yu L, et al. Increasing incidence of asbestosis worldwide, 1990-2017: results from the Global Burden of Disease study 2017. *Thorax*. septiembre de 2020;75(9):798–800.
18. Ferrante P. Costs of asbestosis and silicosis hospitalization in Italy (2001–2018). *Int Arch Occup Environ Health*. el 1 de mayo de 2021;94(4):763–71.
19. Galán Dávila A, Orts Giménez D, Sen Fernández ML de la, Muñoz Fernández A, Gutierrez Rubioa AI, Llorca Martínez E, et al. Beriliosis, la enfermedad que se esconde tras algunas sarcoidosis. *Rev Asoc Esp Espec En Med Trab*. 2020;29(1):70–4.
20. Fernández Álvarez R, Martínez González C, Quero Martínez A, Blanco Pérez JJ, Carazo Fernández L, Prieto Fernández A. Normativa para el diagnóstico y

seguimiento de la silicosis. Arch Bronconeumol. el 1 de febrero de 2015;51(2):86–93.

21. Baquero Erazo AX, Gamba Robayo EA, Rodríguez Franco YK. Diagnóstico de Peligros a Través de la GTC 45 para Establecer Medidas de Control en Arcillas Terranova S.A.S. Bogotá D.C. el 6 de diciembre de 2017 [citado el 31 de enero de 2025]; Disponible en: <http://hdl.handle.net/11349/7213>
22. Juárez SM, Alberto L. Historia natural de la silicosis en una población de trabajadores mineros de Perú, 2003-2006. 2014 [citado el 31 de enero de 2025]; Disponible en: <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/item/45b7bae2-bac5-4e08-bfd0-c50f8efa64cf>
23. Martínez C, Prieto A, García L, Quero A, González S, Casan P. Silicosis, una enfermedad con presente activo. Arch Bronconeumol. el 1 de febrero de 2010;46(2):97–100.
24. Marin Carrasco P, Collantes Lazo H, Astete-Cornejo JM. Case of acute pneumoconiosis vs. accelerated by silicates. Rev Bras Med Trab. 22(2):e20221047.
25. Coronel-Teixeira R, Pérez-Bejarano D. Silicosis en el Paraguay: la amenaza no se ha ido. Mem Inst Invest Cienc Salud Impr [Internet]. 2023 [citado el 31 de enero de 2025]; Disponible en: http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1812-95282023000100007&lng=en&nrm=iso&tlng=en
26. Rubado P, Mirabal Y, Taboada M, Montoya R, Martínez Fraga A, Gullo R, et al. Silicosis crónica complicada, hallazgo en un paciente asintomático. Rev Am Med Respir. 2022;225–9.
27. José E. Mier Osejo MD, Claudia Lucía Mier Iñiguez MD. Silicosis pulmonar. Rev Colomb Neumol [Internet]. el 20 de octubre de 2015 [citado el 31 de enero de 2025];27(4). Disponible en: <https://revistas.asoneumocito.org/index.php/rcneumologia/article/view/73>
28. Wolff H, Vehmas T, Oksa P, Rantanen J, Vainio H. Amianto, asbestosis, y cáncer, los criterios de Helsinki para el diagnóstico y la atribución 2014: recomendaciones. Rev Escandina Trav Envir Onment Salud. 2015;41(1):5–15.
29. Roggli V, Gibbs AR, Attanoos R, Churg A, Popper H, Corrin B, et al. Pathology of Asbestosis: An Update of the Diagnostic Criteria Response to a Critique. Arch Pathol Lab Med. el 1 de septiembre de 2016;140(9):950–2.
30. Furuya S, Chimed-Ochir O, Takahashi K, David A, Takala J. Global Asbestos Disaster. Int J Environ Res Public Health. mayo de 2018;15(5):1000.

31. Sánchez Salmerón IC, Díaz Alfonso NI, Jiménez Álvarez A de los M, Sánchez Salmerón IC, Díaz Alfonso NI, Jiménez Álvarez A de los M. Neumoconiosis. *Medicentro Electrónica*. junio de 2020;24(2):452–60.
32. Dueñas AME, Barrios JMV. Enfermedades por agentes inorgánicos. Neumoconiosis. Mesotelioma.
33. Acosta JAS. DIAGNÓSTICO DE ENFERMEDADES NEUMOLÓGICAS ASOCIADAS AL TRABAJO. 2024.
34. Akar E, Yildiz T, Atahan S. Pulmonary siderosis cases diagnosed with minimally invasive surgical technique: A retrospective analysis of 7 cases. *Ann Thorac Med*. 2018;13(3):163–7.
35. Butnor KJ, Roggli VL. Pneumoconioses. En: *Practical Pulmonary Pathology: A Diagnostic Approach* [Internet]. Elsevier; 2018 [citado el 31 de enero de 2025]. p. 335-364.e3. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780323442848000107>
36. Giraldo LF, Bastidas AR, Benavides M, García R, Ojeda P. Neumoconiosis ocupacional por óxido de estaño. *Acta Medica Colomb*. octubre de 2013;38(4):273–6.
37. Isidro Montes I, Abu Shams K, Alday E, Carretero Sastre JL, Ferrer Sancho J, Freixa Blanxart A, et al. Normativa sobre el asbesto y sus enfermedades pleuropulmonares. *Arch Bronconeumol*. el 1 de marzo de 2005;41(3):153–68.
38. Delgado G. D, Mercado A, Preciado S. M de L, Dávalos P. G, Delgado C. A, Delgado G. D, et al. Placas pleurales por inhalación de fibras de asbesto. Reporte de dos casos y revisión de literatura. *Rev Chil Enfermedades Respir*. septiembre de 2020;36(3):204–10.
39. Luo W, Zeng Y, Shen P, Wu X, Wang J, Zhang X. A multidisciplinary approach for the diagnosis of benign asbestos pleural effusion: a single-center experience. *J Thorac Dis* [Internet]. agosto de 2020 [citado el 27 de febrero de 2025];12(8). Disponible en: <https://jtd.amegroups.org/article/view/42629>
40. Delgado-García D, Miranda-Astorga "Patricio, Aldaz S, Sultan N, Delgado-Cano A, Delgado-Ostaiza K, et al. Mirada normativa: efectos en salud ocasionados por la exposición a fibra de amiantomianto: experiencia en Chile. *Rev Colomb Salud Ocupacional* [Internet]. el 23 de abril de 2024 [citado el 27 de febrero de 2025];14(1). Disponible en: https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/rc_salud_ocupa/article/view/10560
41. López SS, Fernández TMEL, Manso JEO. Silicosis. Actualidad y metodología diagnóstica. *Rev Cuba Salud Trab*. el 14 de abril de 2024;12(1):53–8.

42. Arias-Rico J, García-Zepeda SM, Baltazar-Téllez RM. Silicosis: Enfermedad que afecta a trabajadores de la construcción. *Educ Salud Bol Científico Inst Cienc Salud Univ Autónoma Estado Hidalgo*. el 5 de diciembre de 2024;13(25):65–9.
43. Marín Martínez B, Clavera I. Asbestosis. *An Sist Sanit Navar*. 2005;28:37–43.
44. Agudelo SPE, Herrera S de la C, Correa NG, Ramírez MCG, Montoya JM, Zapata SR, et al. Asbestosis: epidemiología, prevención y tratamiento (Asbestosis: epidemiology, prevention and treatment) (Asbestose: epidemiologia, prevenção e tratamento). *CES Salud Pública*. el 26 de octubre de 2012;3(2):251–8.
45. abril DAM, Manrique-Abril RA, Arismendy OVM. EVALUACION DEL RIESGO POR EXPOSICION OCUPACIONAL EN UNA MINA DE CARBON EN SOCHA BOYACA. *Rev Salud Hist Sanid*. el 15 de diciembre de 2016;11(2):105–14.
46. Li L, Silveira LJ, Hamzeh N, Gillespie M, Mroz PM, Mayer AS, et al. Beryllium-induced lung disease exhibits expression profiles similar to sarcoidosis. *Eur Respir J*. junio de 2016;47(6):1797–808.
47. Sizar O, Talati R. Berylliosis. En: StatPearls [Internet] [Internet]. StatPearls Publishing; 2023 [citado el 31 de enero de 2025]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470364/>
48. Oh SJ, Hwang KE, Jeong ET, Kim HR. A case of pulmonary siderosis misdiagnosed as pneumonia. *Respir Med Case Rep*. el 1 de enero de 2018;25:58–60.
49. Jarra Chinarro B, Rio Ramirez MaT. Enfermedades ocupacionales: Otras Neumoconiosis [Internet]. 2008 [citado el 31 de enero de 2025]. Disponible en: https://www.neumomadrid.org/wp-content/uploads/monogxiii_8._otras_neumoconiosis.pdf
50. E King T. Asbestos-related pleuropulmonary disease - UpToDate [Internet]. 2024 [citado el 27 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://www.uptodate.com/contents/asbestos-related-pleuropulmonary-disease>
51. Clarke K, Manrique A, Sabo-Attwood T, Coker ES. A Narrative Review of Occupational Air Pollution and Respiratory Health in Farmworkers. *Int J Environ Res Public Health*. enero de 2021;18(8):4097.
52. Mulugeta T. Occupational Respiratory Health Symptoms and Associated Factor among Street Sweepers in Addis Ababa, Ethiopia. *ResearchGate* [Internet]. 2017 [citado el 30 de enero de 2025]; Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/322794754_Occupational_Respirato

ry_Health_Symptoms_and_Associated_Factor_among_Street_Sweepers_in_Addis_Ababa_Ethiopia

53. Angulo Avella I, Hidalgo KA, Medina Sierra SL, Miranda Cardona R. Efectos de la Silicosis en Trabajadores de la Construcción [Internet]. Corporación Universitaria Minuto de Dios; 2021 [citado el 31 de enero de 2025]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10656/12536>
54. Martínez González C, Casan Clara P, Prieto Fernández A, Alonso Arias R. Beriliosis: una granulomatosis para no olvidar la importancia de la historia laboral. Arch Bronconeumol. el 1 de julio de 2020;56(7):470–1.
55. Méndez Vargas MM, Zamudio Martínez P, Aguilar Loya M, Marín Cotoñieto IA, Salinas Tovar S, López Rojas P, et al. Talcossilicosis, enfermedad laboral poco frecuente. Rev Médica Inst Mex Seguro Soc. 2010;48(4):431–8.
56. Tellitu SKA, Elizagaray JS, Barrenechea JQ, Ibañez JMA, Rodrigo EM, Angulo MG, et al. Todavía sigue entre nosotros...el asbesto...hallazgos radiológicos y seguimiento de los pacientes expuestos. Seram [Internet]. el 26 de mayo de 2022 [citado el 27 de febrero de 2025];1(1). Disponible en: <https://piper.espacio-seram.com/index.php/seram/article/view/9123>
57. Molina LO, Herrero HG, García PC, Guevara KG, Bañuelos JS, Rodríguez CS. Exposición al asbesto:: ¿Que ocurre en el tórax con el paso del tiempo? Seram [Internet]. el 22 de noviembre de 2018 [citado el 27 de febrero de 2025]; Disponible en: <https://www.piper.espacio-seram.com/index.php/seram/article/view/214>
58. International Labour Organization. Guidelines for the use of the ILO International Classification of Radiographs of Pneumoconioses - Revised edition 2022 [Internet]. 2022 [citado el 15 de marzo de 2025]. Disponible en: https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/@ed_dialogue/@lab_admin/documents/publication/wcms_867859.pdf
59. ŞENER MU, ŞİMŞEK C, ÖZKARA Ş, EVRAN H, BURSALI İ, GÖKÇEK A. Comparison of the International Classification of High-resolution Computed Tomography for occupational and environmental respiratory diseases with the International Labor Organization International Classification of Radiographs of Pneumoconiosis. Ind Health. julio de 2019;57(4):495–502.
60. Suganuma N, Kusaka Y. Application of the International Classification of HRCT for the Occupational Lung Diseases. En: Kusaka Y, Hering KG, Parker JE, editores. International Classification of HRCT for Occupational and Environmental Respiratory Diseases [Internet]. Tokyo: Springer; 2005 [citado el 15 de marzo de 2025]. p. 45–55. Disponible en: https://doi.org/10.1007/4-431-27512-6_6

61. Abú- Shams K, Fanlo P, Lorente MP. Silicosis. *An Sist Sanit Navar*. 2005;28:83–9.
62. Niu ES, Colosio C, Carugno M, Adisesh A. Diagnostic and exposure criteria for occupational diseases - International Labour Organization. 2022; Disponible en: https://www.ilo.org/sites/default/files/2024-07/wcms_836362.pdf
63. Li T, Yang X, Xu H, Liu H. Early Identification, Accurate Diagnosis, and Treatment of Silicosis. *Can Respir J*. 2022;2022:3769134.
64. Ministerio de Sanidad. Protocolo de vigilancia sanitaria específica. Silicosis. España; 2020.
65. Delgado-García D, Miranba-Astorga P, Delgado-García O deopolbo, Delgabo-Ostaiza KG, Delgabo-Cano A, Olmebo-Vera J, et al. SALUD OCUPACIONAL: MIRADA NORMATIVA PARA EL DIAGNÓSTICO DE SILICOSIS. *Rev Repub*. diciembre de 2023;(35):249–71.
66. Galleguillos B S, Concha B M, Contreras T G, Abarca C G, Muñoz V AO, Valenzuela S E, et al. La silicosis: ¿un problema de salud pública prioritario para Chile? *Rev Chil Enfermedades Respir*. marzo de 2015;31(1):39–47.
67. Contreras T G, Torrealba J B, Salinas F M. Enfermedades respiratorias laborales en Chile: Ley 16.744. *Rev Chil Enfermedades Respir*. marzo de 2014;30(1):27–34.
68. Salinas EO. Problema de la silicosis en el Perú: Marco jurídico: 2021;
69. Gobierno del Perú. Registro de médicos con entrenamiento en la lectura de placas de tórax con criterio OIT para el diagnóstico de neumoconiosis [Internet]. 2009 [citado el 17 de febrero de 2025]. Disponible en: https://www.gob.pe/institucion/ins/colecciones/36584-registro-de-medicos-con-entrenamiento-en-la-lectura-de-placas-de-torax-con-criterio-oit-para-el-diagnostico-de-neumoconiosis?utm_source=chatgpt.com
70. Ministerio de Salud. PLAN NACIONAL PARA LA PREVENCION Y ERRADICACION DE LA SILICOSIS EN EL PERU [Internet]. 2008 [citado el 17 de febrero de 2025]. Disponible en: <http://www.digesa.minsa.gob.pe/DSO/informes/PLAN%20NACIONAL%20PARA%20LA%20PREVENCION%20Y%20ERRADICACION%20DE%20LA%20SILICOSIS%20EN%20EL%20PERU.pdf>
71. Musk AW, de Klerk N, Reid A, Hui J, Franklin P, Brims F. Asbestos-related diseases. *Int J Tuberc Lung Dis Off J Int Union Tuberc Lung Dis*. el 1 de junio de 2020;24(6):562–7.

72. American Thoracic Society. Diagnosis and Initial Management of Nonmalignant Diseases Related to Asbestos. *Am J Respir Crit Care Med*. el 15 de septiembre de 2004;170(6):691–715.
73. Ministerio de Salud. LEY N° 29662, LEY QUE PROHIBE EL ASBESTO ANFÍBOLES Y REGULA EL USO DEL ASBESTO CRISOTILO - PERÚ [Internet]. 2014. Disponible en: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/200496/197235_DS028_2014_SA.pdf20180926-32492-pintto.pdf
74. Garrote-Wilches CF, Malagón-Rojas JN, Morgan G, Combariza D, Varona M. Caracterización de las condiciones de salud respiratoria de los trabajadores expuestos a polvo de carbón en minería subterránea en Boyacá, 2013. *Rev Univ Ind Santander Salud*. diciembre de 2014;46(3):237–47.
75. Vargas BP, Culma LAR. DUALIDAD, LA LOCOMOTORA MINERA Vs. EL PULMÓN NEGRO. 2016;
76. National Institute for Occupational Safety. Health Coal Workers' Health Surveillance Program. [Internet]. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health; 2023 mar [citado el 17 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2019-130/>
77. Congreso de los Estados Unidos. Ley Federal de Seguridad y Salud en las Minas, 1977 (Ley de Minas). 1977;
78. Gobierno de Colombia. Decreto 676 de 2020 - Gestor Normativo [Internet]. 2020 [citado el 17 de febrero de 2025]. Disponible en: https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=124100&utm_source=chatgpt.com
79. Ministerio de Energía y Minas del Perú. DECRETO SUPREMO N° 024-2016-EM - Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería [Internet]. 2016. Disponible en: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/901782/DS-024-2016-EM.pdf?utm_source=chatgpt.com
80. Ministerio de Salud del Perú. Documento Técnico Protocolos de Exámenes Médico Ocupacionales y Guías de Diagnóstico de los Exámenes Médicos obligatorios por Actividad RM N° 312-2011/MINSA [Internet]. 2011 [citado el 17 de febrero de 2025]. Disponible en: <http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/DT-PROTOCOLOS-MINSA.pdf>

81. Centro Nacional de Salud Ocupacional y Protección de ambiente para la Salud. GUÍA TÉCNICA PARA TOMA DE RADIOGRAFÍAS DE TÓRAX SEGÚN TÉCNICA OIT DE LA CLASIFICACIÓN INTERNACIONAL DE RADIOGRAFÍAS DE NEUMOCONIOSIS OIT/2000 [Internet]. 2008 [citado el 17 de febrero de 2025]. Disponible en: https://repositorio.ins.gob.pe/bitstream/handle/20.500.14196/243/CENSOPAS-0002.pdf?isAllowed=y&sequence=1&utm_source=chatgpt.com
82. Gaviola DS. Exposición al Berilio. GUÍA Actuac DIAGNÓSTICO ENFERMEDADES Prof. 2019;
83. International Organization for Standardization. ISO 45001:2018, Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo — Requisitos con orientación para su uso [Internet]. 2018 [citado el 17 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://www.iso.org/obp/ui/es/#iso:std:iso:45001:ed-1:v1:es>
84. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. ToxFAQs™: Berilio (Beryllium) | ToxFAQ | ATSDR [Internet]. 2023 [citado el 17 de febrero de 2025]. Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts4.html
85. Ministerio de Salud del Perú. Resolución Ministerial N.º 733-2024-MINSA [Internet]. 2024 [citado el 17 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/7141990/6130172-resolucion-ministerial-n-733-2024-minsa.pdf?v=1730152429>
86. Ministerio de Salud del Perú. Resolución Ministerial N.º 454-2024-MINSA [Internet]. 2024 [citado el 17 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/6578977/5725079-resolucion-ministerial-n-454-2024-minsa.pdf?v=1720100887>
87. Seminario MA, Montero MÁ, Ferrer J. Nódulo pulmonar solitario en paciente con exposición a humos de soldadura. Arch Bronconeumol. el 1 de septiembre de 2010;46(9):495.
88. Spalgais S, Kumar R, Mrgipuri P. Symptomatic Pulmonary Siderosis in Scissors/Knife Sharpening Worker: A Case Report. Indian J Occup Environ Med. 2020;24(1):42–4.
89. International Labour Organization. Lista de enfermedades profesionales de la OIT (revisada en 2010) [Internet]. 2010 [citado el 17 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://www.ilo.org/es/publications/lista-de-enfermedades-profesionales-de-la-oit-revisada-en-2010>
90. Gobierno de Argentina. Argentina.gob.ar. 1996 [citado el 17 de febrero de 2025]. Decreto 658/96 - Apruébase el Listado de Enfermedades Profesionales,

previsto en el artículo 6º, inciso 2, de la Ley N° 24.557. Disponible en:
<https://www.argentina.gob.ar/>

91. Gobierno de Colombia. Decreto 1832 de 1994 - “Por el cual se adopta la Tabla de Enfermedades Profesionales”. [Internet]. 1994 [citado el 17 de febrero de 2025]. Disponible en:
https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=8802&utm_source=chatgpt.com
92. Marchiori E, Lourenço S, Gasparetto TD, Zanetti G, Mano CM, Nobre LF. Pulmonary talcosis: imaging findings. *Lung*. abril de 2010;188(2):165–71.
93. Verlynde G, Agneessens E, Dargent JL. Pulmonary Talcosis Due to Daily Inhalation of Talc Powder. *J Belg Soc Radiol* [Internet]. el 31 de enero de 2018 [citado el 17 de febrero de 2025];102(1). Disponible en:
<https://jbsr.be/articles/10.5334/jbsr.1384>
94. Ministerio de Salud. Listado enfermedades Ocupacionales-NTS 068-MINSA [Internet]. 2008 [citado el 25 de enero de 2025]. Disponible en:
[https://www.onpsctr.gob.pe/DocumentosComunes/Listado%20enfermedades%20Ocupacionales%20NTS%20068-MINSA%20\(Procesado\).pdf](https://www.onpsctr.gob.pe/DocumentosComunes/Listado%20enfermedades%20Ocupacionales%20NTS%20068-MINSA%20(Procesado).pdf)
95. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. Directrices para la decisión clínica en enfermedades profesionales - DDC-RES-04 Neumoconiosis benignas (BD.05.1.13) NIPO: 272-15-006-7 [Internet]. 2015 [citado el 17 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://www.insst.es/ddc-directrices-para-la-decision-clinica>
96. Delgado-García D, Cohen RA, Suganuma N, López-Guillén A, Basilico S, Delgado-García D, et al. Origen y avances del Observatorio Internacional de Neumoconiosis. *Rev Asoc Esp Espec En Med Trab*. 2024;33(1):128–31.
97. Mandrioli D, Schlünssen V, Ádám B, Cohen RA, Colosio C, Chen W, et al. WHO/ILO work-related burden of disease and injury: Protocol for systematic reviews of occupational exposure to dusts and/or fibres and of the effect of occupational exposure to dusts and/or fibres on pneumoconiosis. *Environ Int*. octubre de 2018;119:174–85.
98. Shi P, Xing X, Xi S, Jing H, Yuan J, Fu Z, et al. Trends in global, regional and national incidence of pneumoconiosis caused by different aetiologies: an analysis from the Global Burden of Disease Study 2017. *Occup Environ Med*. junio de 2020;77(6):407–14.
99. Han L, Yao W, Bian Z, Zhao Y, Zhang H, Ding B, et al. Characteristics and Trends of Pneumoconiosis in the Jiangsu Province, China, 2006–2017. *Int J Environ Res Public Health*. el 2 de febrero de 2019;16(3):437.

100. Patel P, Aggarwal SG. On the techniques and standards of particulate matter sampling. *J Air Waste Manag Assoc.* el 3 de agosto de 2022;72(8):791–814.
101. Occupational Safety and Health Administration. OSHA’s Respirable Crystalline Silica Standard for Construction. 2017;
102. Criteria for a recommended standard: occupational exposure to respirable coal mine dust. el 24 de julio de 2023 [citado el 1 de marzo de 2025]; Disponible en: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/95-106/default.html>
103. Tripathi AK, Aruna M, Parida S, Nandan D, Elumalai PV, Prakash E, et al. Integrated smart dust monitoring and prediction system for surface mine sites using IoT and machine learning techniques. *Sci Rep.* el 30 de marzo de 2024;14(1):7587.
104. Blanco Bartolomé L. EPI - Protección respiratoria. el 16 de diciembre de 2020 [citado el 1 de marzo de 2025]; Disponible en: <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/111059>
105. McElvenny DM, Wiggans R, Hoyle J, Fishwick D, van Tongeren M. Updated systematic review of respiratory health surveillance: what is the evidence and what are the knowledge gaps? *Occup Med.* el 1 de diciembre de 2024;74(9):623–4.
106. Huang X, Liu W, Yao Y, Wang D, Sun Y, Chen W. 30-Year Trends in the Disease Burden, Incidence, and Prevention of Pneumoconiosis. *China CDC Wkly.* el 22 de septiembre de 2023;5(38):856.
107. Matteis SD, Heederik D, Burdorf A, Colosio C, Cullinan P, Henneberger PK, et al. Current and new challenges in occupational lung diseases. *Eur Respir Rev [Internet].* el 15 de noviembre de 2017 [citado el 1 de marzo de 2025];26(146). Disponible en: <https://publications.ersnet.org/content/errev/26/146/170080>
108. Lewis L, Fishwick D. Health surveillance for occupational respiratory disease. [citado el 1 de marzo de 2025]; Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1093/occmed/kqt048>
109. Alonso-Jiménez EM, Huerta-Gonzalez I, Alonso-Jiménez EM, Huerta-Gonzalez I. Panorama actual de las vacunaciones laborales en España: “perfil de la vacunación en los Servicios de Prevención de Riesgos Laborales”. *Med Segur Trab.* junio de 2023;69(271):77–99.
110. Weissman DN. Medical surveillance for the emerging occupational and environmental respiratory diseases. *Curr Opin Allergy Clin Immunol.* abril de 2014;14(2):119.

111. Occupational Safety and Health Administration. Training Requirements in OSHA Standards. 2015;
112. Armijos Santorum MY, Manzano Merchán FO. Importancia de equipos de protección personal en prevención de lesiones y enfermedades ocupacionales: industria minera. CIENCIAMATRIA. 2024;10(Extra 1):14.
113. Rodríguez-Rincón JS, Cárdenas-Corredor NS, Álvarez-Luna JT, Pérez-Tobos JC, Palencia-Mojica CL. Estrategias para implementar sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo en empresas del sector industrial. Revisión narrativa de la literatura. Rev Investig En Salud Univ Boyacá. el 30 de junio de 2023;10(1):145–64.
114. International Labour Organization. Convenio C155 - Convenio sobre seguridad y salud de los trabajadores, 1981 [Internet]. Disponible en: https://normlex.ilo.org/dyn/nrmlx_es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_ILO_CODE:C155
115. International Labour Organization. Convenio C161 - Convenio sobre los servicios de salud en el trabajo, 1985 (núm. 161) [Internet]. [citado el 14 de febrero de 2025]. Disponible en: https://normlex.ilo.org/dyn/nrmlx_es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO:12100:P12100_INSTRUMENT_ID:312306:NO
116. Congreso de la República del Perú. Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo: Ley 29783. El Peruano [Internet]. 2022 [citado el 27 de febrero de 2025]; Disponible en: https://diariooficial.elperuano.pe/Normas/obtenerDocumento?idNorma=38&utm_source=chatgpt.com
117. Wang H, Ye Q, Zhang H, Sun X, Li T. Prevention and Treatment of Pneumoconiosis in the Context of Healthy China 2030. China CDC Wkly. el 13 de octubre de 2023;5(41):927–32.
118. Hall NB, Halldin CN, Blackley DJ, Laney AS. Assessment of pneumoconiosis in surface coal miners after implementation of a national radiographic surveillance program, United States, 2014-2019. Am J Ind Med. diciembre de 2020;63(12):1104–8.
119. Castañeda Jején JT, Flórez Martínez JP. Diseño del programa de vigilancia epidemiológica para prevenir la silicosis en los trabajadores de sandblasting en la empresa TECNIBLAST SAS. 2021 [citado el 16 de marzo de 2025]; Disponible en: <https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/2520>
120. Ministerio de Salud del Perú. PLAN NACIONAL PARA LA ERRADICACIÓN DE LA SILICOSIS EN EL PERU AL 2030. 2011;

121. Aquino-Canchari CR, Huamán-Castillón KM, Jiménez-Mozo F, Canchari CA. Enfermedades ocupacionales en minería en el Perú, 2011-2020. 2022;31.
122. Instituto de Salud Pública de Chile. Boletín de Salud Ocupacional - REDSOCHI [Internet]. 2024. Disponible en: <https://www.ispch.gob.cl/wp-content/uploads/2024/07/BoletinREDSOCHI2024-OPS-26072024B.pdf>