



# Curso de Especialización en Control de Polvo y Derrames

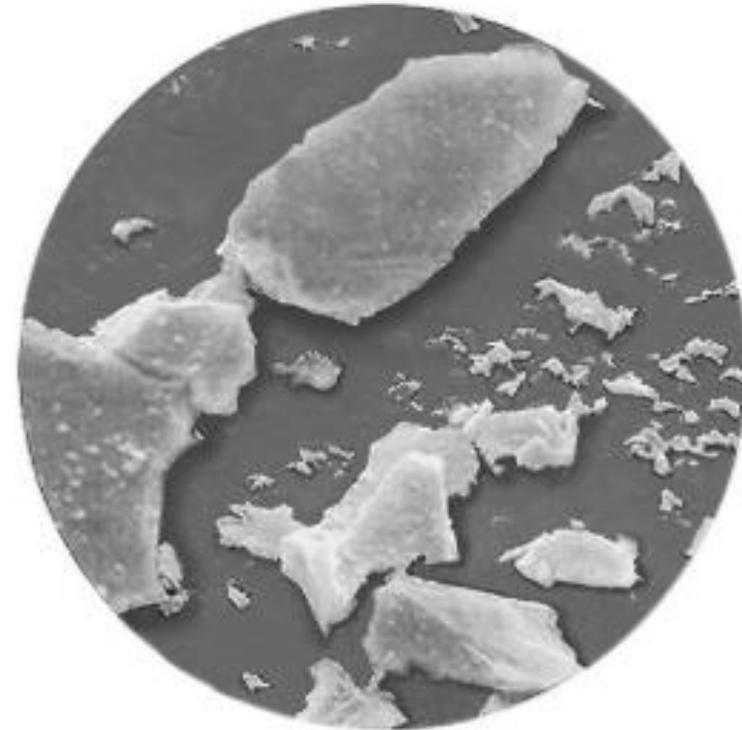
Clase 02: Silicosis, EPP (Protección Nasal)  
y Control del Ambiente Silicógeno



# Sílice Cristalina Respirable (Sílice)

**La Sílice Cristalina Respirable** es la fracción respirable, PM5 o PM4 según la NIOSH, de sílice cristalina o dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), un mineral muy abundante en la naturaleza.

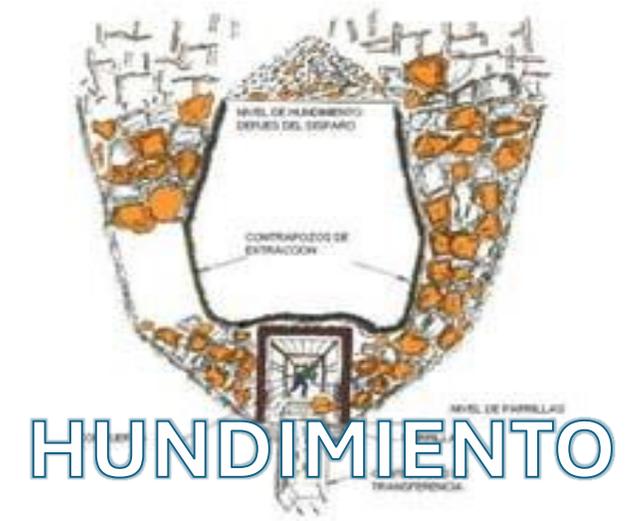
La sílice no se encuentra en el piso, es liberada en procesos de corte, pulido, trituración, fracturación, etc. [12]



***Imagen microscópica de Sílice***

*Fuente de la imagen: CDC-NIOSH*

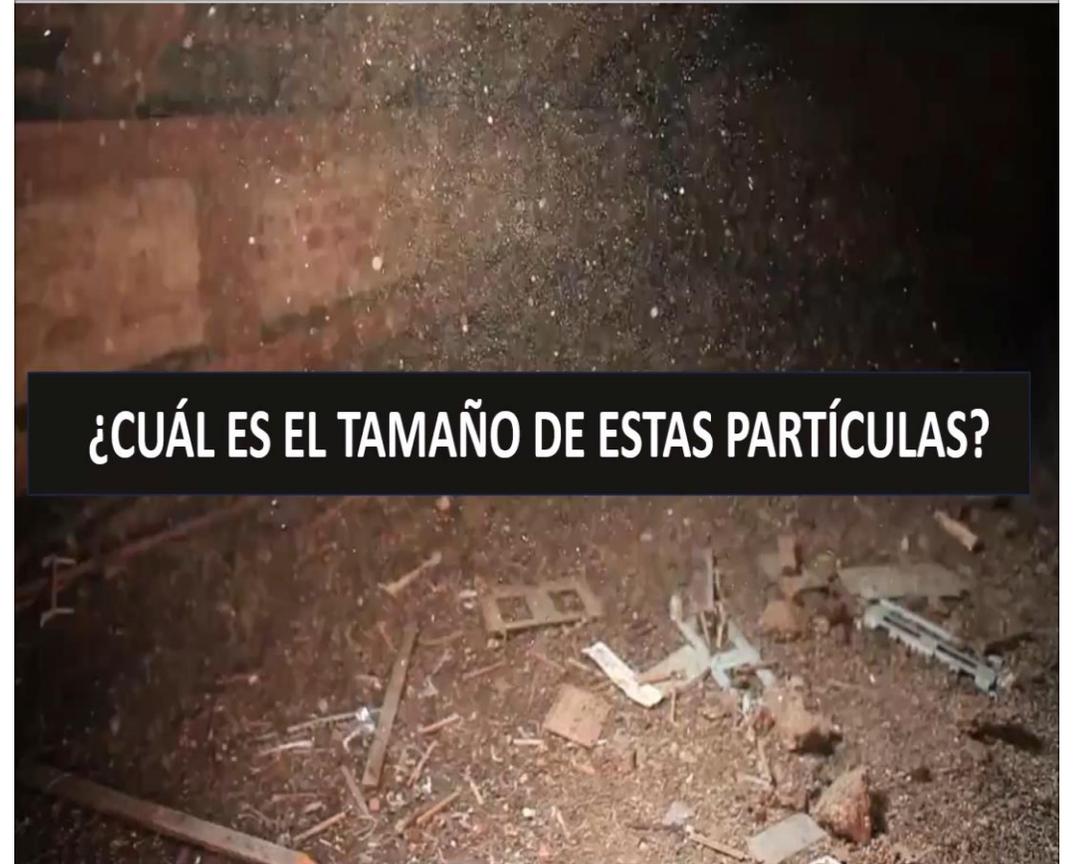
# Procesos que Liberan Sílice en Minería



# Suspensión de partículas PM5

La velocidad terminal del tamaño máximo del PM5, el de 5 micrones, es de 0,007 m/s (0,025 km/h). Por consiguiente:

- En el exterior es imposible que sedimente
- Y en el interior se mantiene en suspensión.



**Ambiente Silicógeno** es aquel que en su fracción respirable (PM5) contiene el 1% o más de sílice. En este ambiente existe riesgo de adquirir las siguientes enfermedades

- Silicosis
- Cáncer al pulmón
- Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)
- Bronquitis y enfisema
- Tuberculosis o acentuar esta enfermedad
- Aumenta el riesgo de enfermedades renales y autoinmunes

# La Silicosis

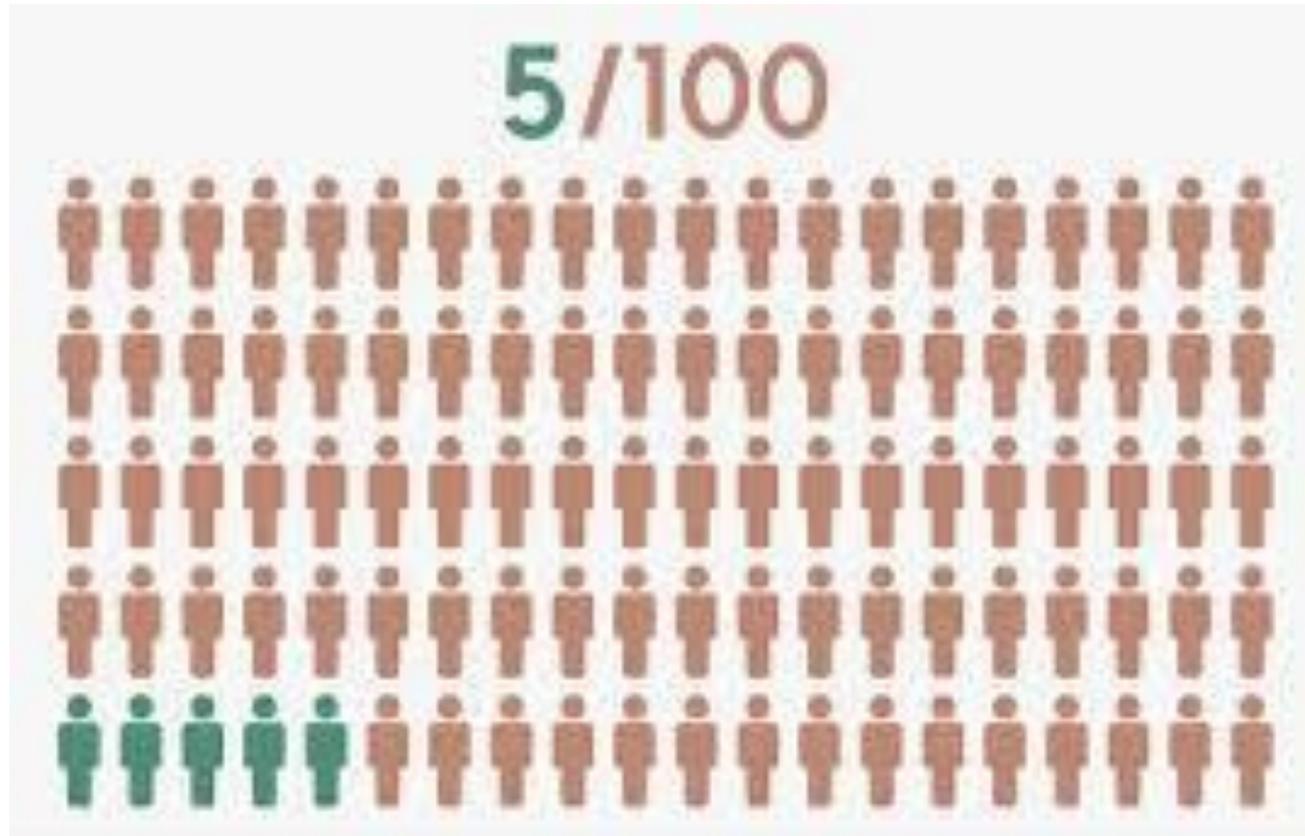
**La silicosis** es una enfermedad fibrótica-pulmonar, una pneumoconiosis, de carácter irreversible y progresiva, considerada enfermedad profesional incapacitante, que se adquiere en un ambiente silicógeno. [12]



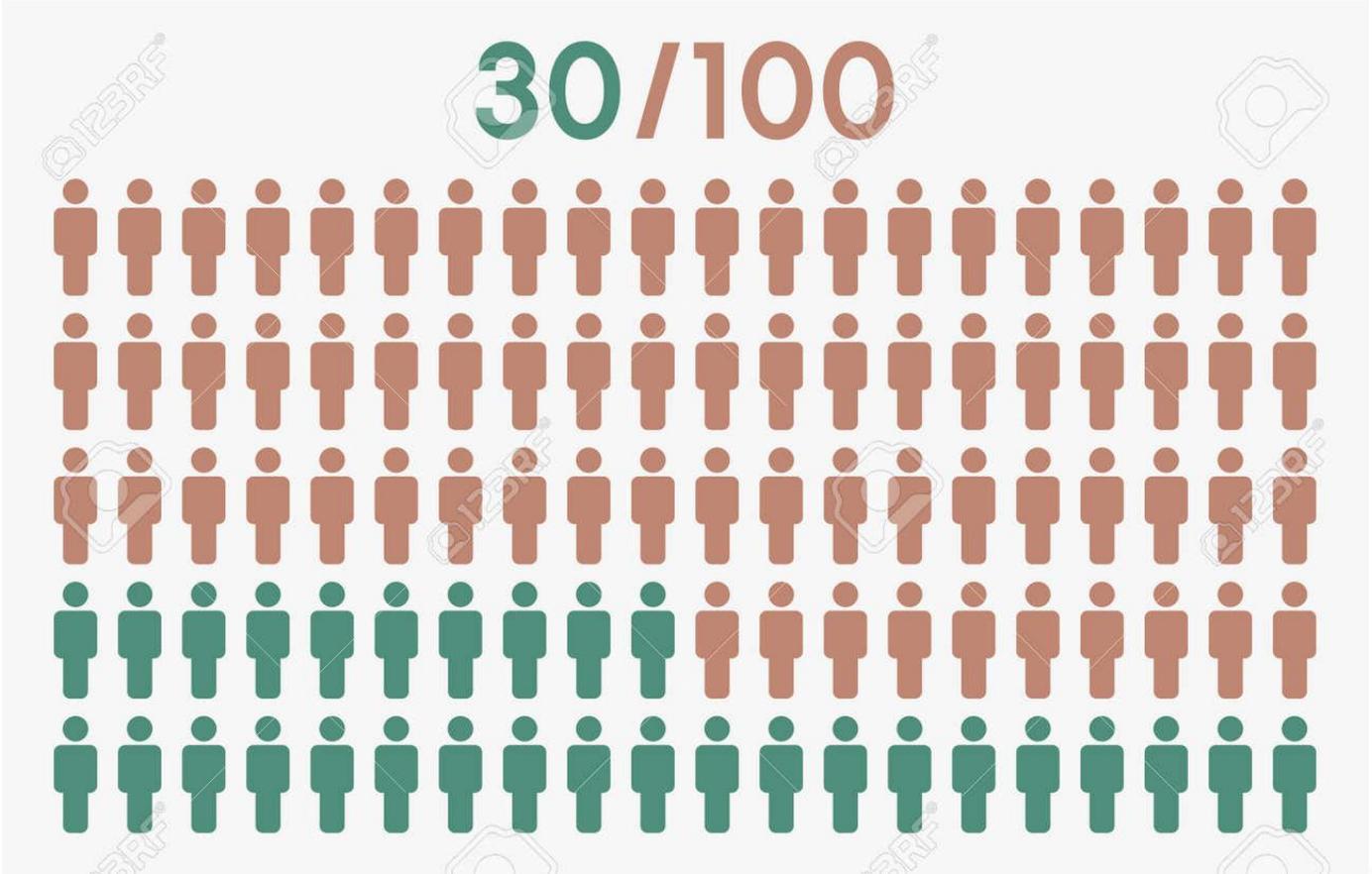
El **REL** (Recommended Exposure Limit), es el límite de exposición recomendado a una sustancia en el trabajo establecido por la NIOSH que, se basa en un promedio ponderado hasta por 10 horas al día durante una semana de trabajo de 40 horas. Para la sílice de cuarzo el REL es de **50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$** . [7]

En Chile, el Límite Permisible Ponderado, **LPP**, de sílice es de **80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**  para la sílice de cuarzo y **40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**  para la sílice de tridimita. [3]

Según OSHA [7], la exposición a  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (que corresponde al REL) durante un periodo de 45 años provoca silicosis en 5 de cada 100 personas.



Mientras que la exposición al doble de sílice ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
aumenta el riesgo a 30 por cada 100 personas.



# Estudio sobre Exposición a la Sílice[14]

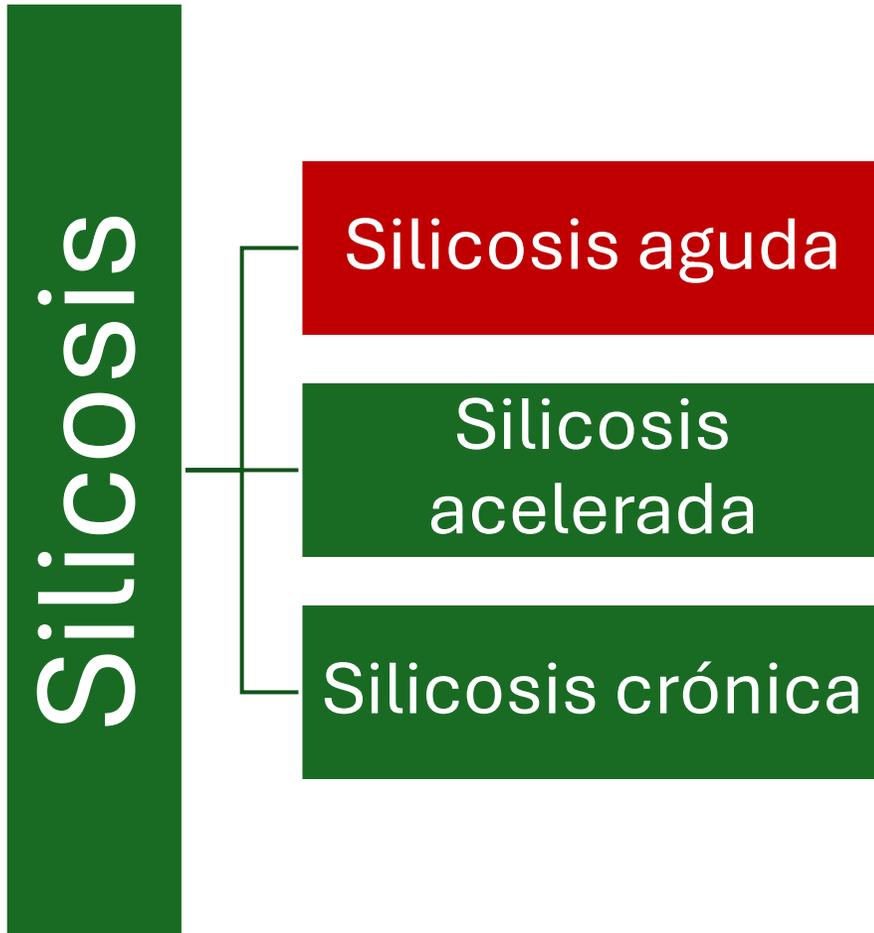
- El objetivo del estudio fue investigar el riesgo de silicosis entre los mineros de estaño en China y la relación entre la silicosis y la exposición acumulativa a la sílice.
- Se realizó un estudio con 3010 mineros que trabajaron en cuatro minas de estaño en China entre 1960 y 1965. Los datos históricos del polvo total se utilizaron para crear una matriz de exposición laboral.
- Las exposiciones al polvo total se convirtieron en estimaciones de exposición a sílice. Se siguió a cada trabajador hasta el diagnóstico de silicosis, basado en los criterios diagnósticos chinos de neumoconiosis de 1986.



# Resultados del Estudio: Concentración vs. Riesgo

Concentración Total Acumulativa de Polvo (CTD) (mg/m <sup>3</sup> -años)	Riesgo de Silicosis (%)
<10	<0.1
10-19.99	1
20-39.99	7
40-59.99	14.5
60-79.99	28.5
80-99.99	40.5
100-149.99	66.3
>150	91.7

Según el tiempo de exposición y la concentración de sílice, existen los siguientes tipos de silicosis:



**Silicosis Aguda.** Ocurre cuando las concentraciones de exposición están en su nivel más alto y pueden ocasionar síntomas dentro de unas cuantas semanas a 4 o 5 años después de la exposición inicial.

# Silicosis

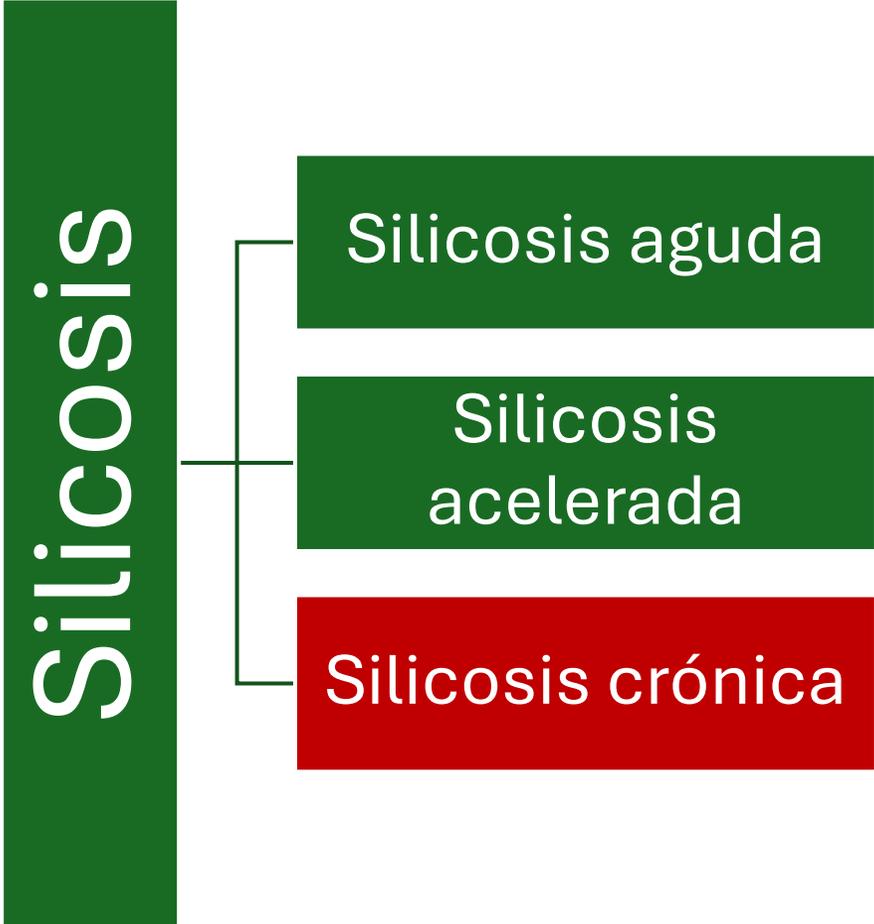
Silicosis aguda

Silicosis  
acelerada

Silicosis crónica

**Silicosis Acelerada.** Resulta de la exposición a altas concentraciones de sílice y se desarrolla de 5 a 10 años después de la exposición inicial.

# Silicosis



Silicosis aguda

Silicosis  
acelerada

Silicosis crónica

**Silicosis Crónica.** Ocurre de ordinario después de 10 o más años de exposición a la sílice en concentraciones relativamente bajas.

## GPES y PNES [8]

Los Programas Nacionales para la Eliminación de la Silicosis (**PNES**) fueron establecidos En el marco del Global Program Elimination of Silicosis (GPES) de la OIT/OMS. Los países están obligados a establecer un plan nacional.



**Organización  
Mundial de la Salud**

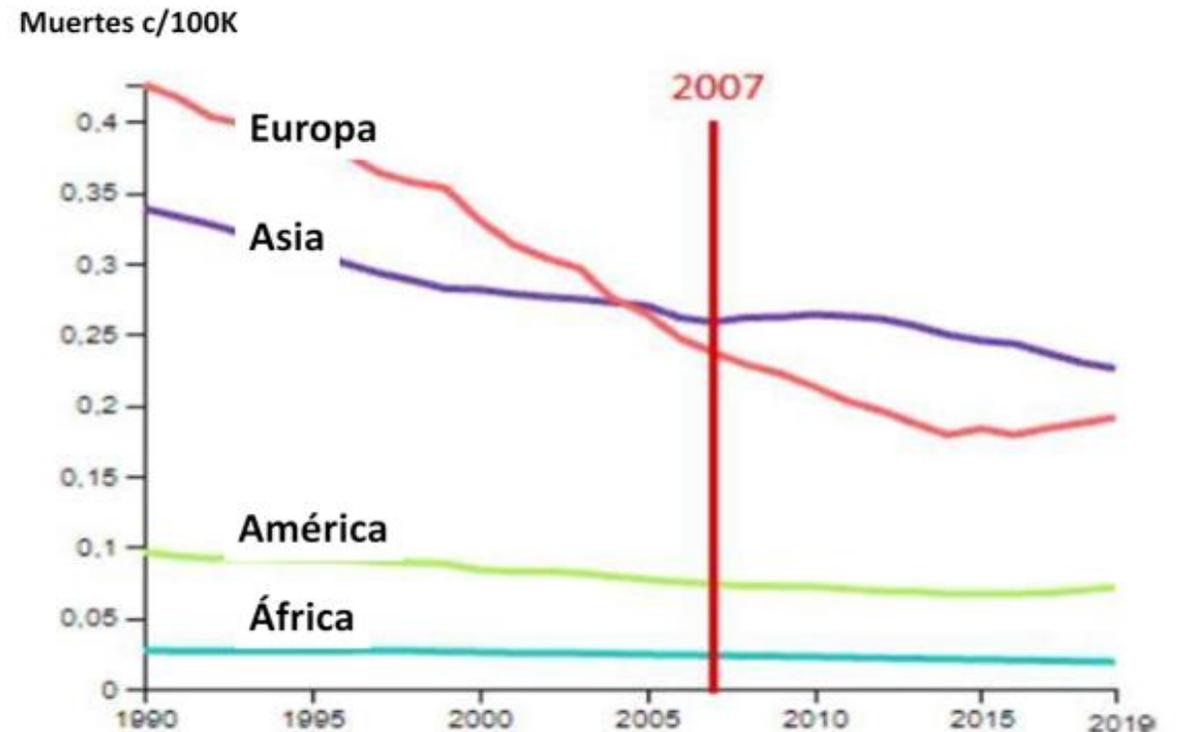
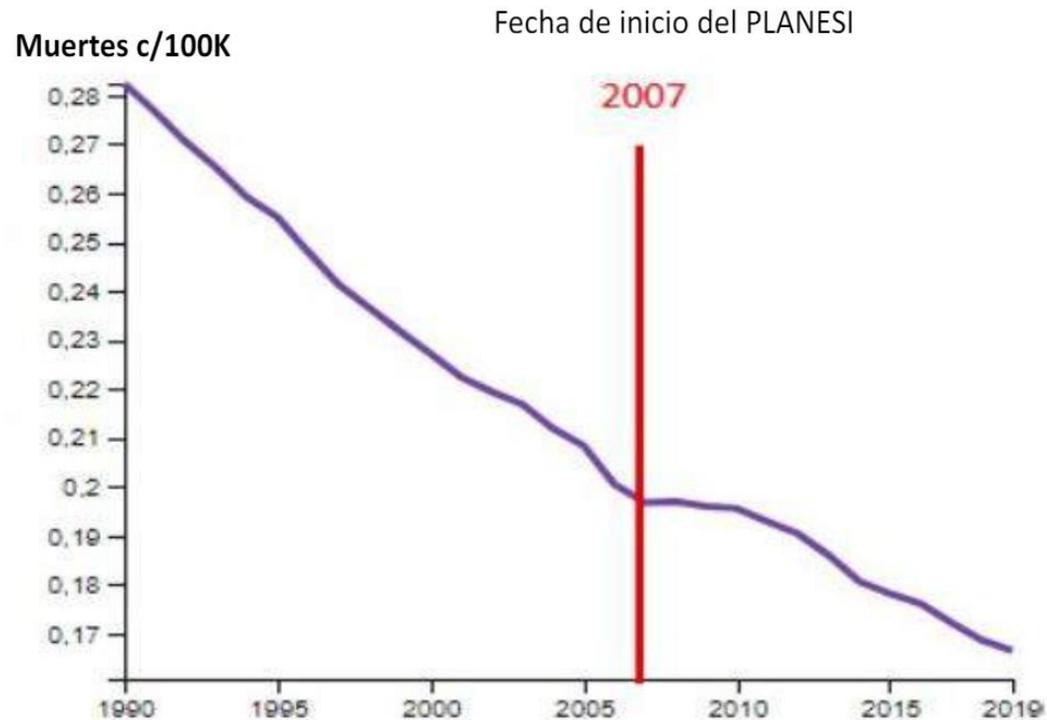
# Países Comprometidos

Hasta la fecha, sólo se han establecido PNEs en 9 países: Brasil, Chile [9], China, India, Perú [10], Sudáfrica, Tailandia, Turquía y Vietnam.



# PLANESI [11]

Las muertes por silicosis en el mundo han disminuido. Sin embargo, en América y África se han mantenido constante. Esto es, nada se ha avanzado en el compromiso de erradicar la silicosis para el año 2030 en estos dos continentes, consumido más del 70% del tiempo y a 7 años de la meta.



**PERFORACIÓN  
Y TRONADURA**

**CHANCADO  
PRIMARIO**

**CHANCADO SECUNDARIO  
Y TERCARIO**

**MOLIENDA**

**REMOLIENDA**

## Fuentes Liberadoras y Emisoras de Sílice

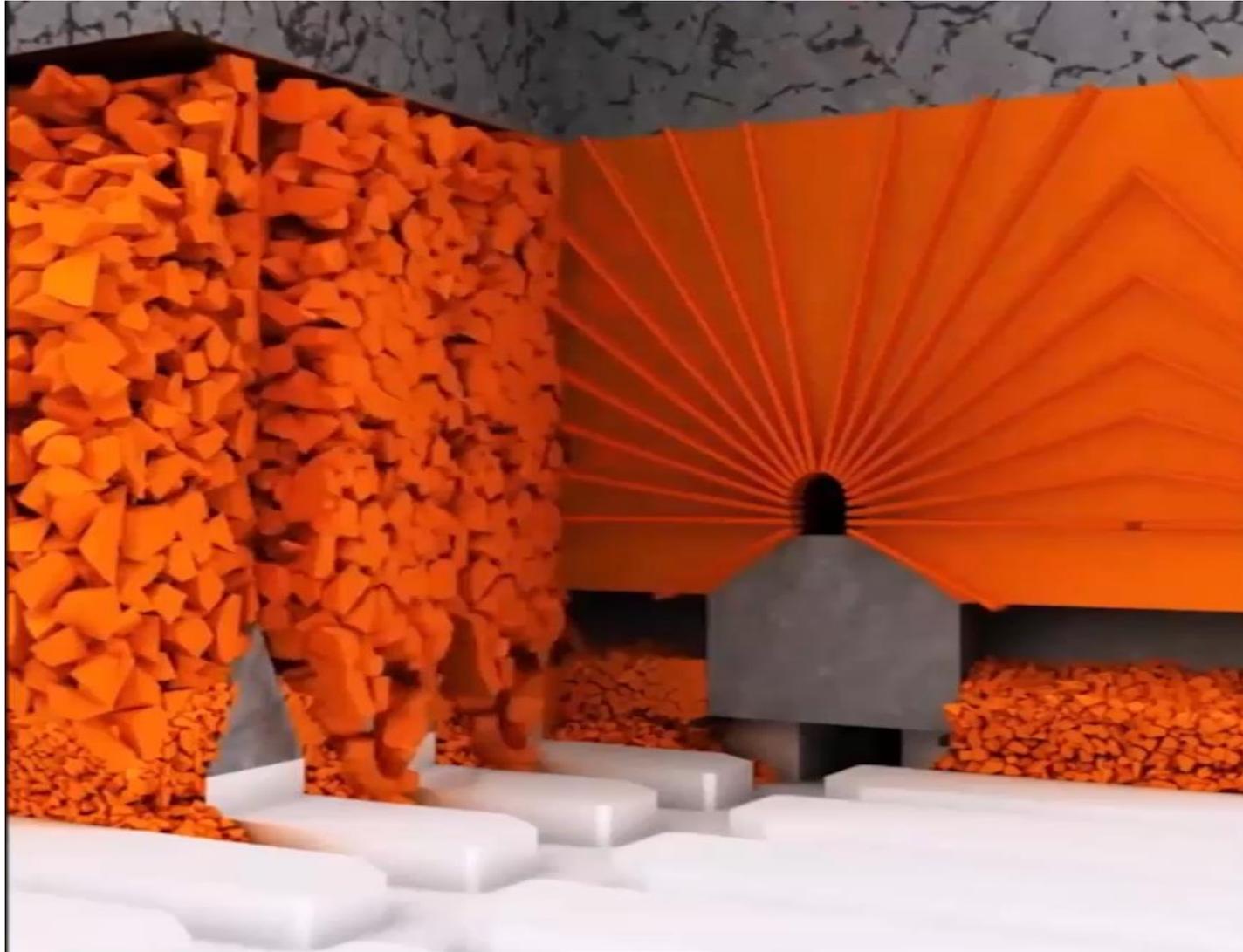
**PROCESO MINERO  
PARA SULFUROS**



## **Principal fuente liberadora de sílice en minería a cielo abierto (open pit): tronadura**



## Principal fuente liberadora de sílice en minería subterránea: hundimiento



Todos los sectores de una planta minera tienen presencia de sílice. Por tanto, tienen el potencial de contaminar en menor o mayor grado. La realidad y mediciones otorgan el siguiente orden de precedencia:

**1. EXTRACCIÓN Y MANEJO ESTERIL**

**3. CHANCADO Y MANEJO DE MINERAL GRUESO**

**5. MANEJO DE RELAVE**

**2. MANEJO MINERAL ROM**

**4. CONMINUCIÓN Y MANEJO DE MINERAL FINO**

**6. MANEJO DE CONCENTRADO**

**PROCESO MINERO  
PARA SULFUROS**



# Riego

El riego es útil para controlar las partículas sedimentables o de mayor tamaño. Es decir, es eficiente de forma temporal para el polvo visible.

El PM5 no sedimenta, no se encuentra en el suelo. Por consiguiente, el riego no tiene efecto alguno para el control de sílice.



# Supresión o Abatimiento: Neblina Seca



La neblina seca actúa sobre un tamaño de gota promedio de 10 micrones. Por tanto, no tiene mayor impacto sobre el PM5. En consecuencia, no es un control efectivo de la sílice.

# Humectación Superficial, Control Local

Aunque el agua no moja el PM5, humedecer las colpas o el mineral grueso que se ubica en la superficie, permite aumentar la cohesión de los finos sobre las colpas, incluido el PM5.

Este es un control local, ya que el PM5 sigue presente y se puede fugar aguas abajo



# Aplicación de Surfactante Aumenta la Adherencia



# Extracción con Retorno. Control Local

El sistema de extracción con retorno del polvo seco o húmedo puede tener impacto positivo para el control en el lugar del polvo visible, pero poco impacto positivo en el control de la sílice.



# Extracción con Eliminación

El sistema de extracción con retorno del polvo convertido en granulo o similar o su eliminación como pasta es el único método efectivo para disminuir la sílice en el lugar y aguas abajo. Es decir, su eliminación definitiva.



# Protección Nasal

**Según la norma NIOSH.** No utilizar protección nasal como medio principal para evitar la exposición a contaminantes aerotransportados. En vez de ello, elimine las fuentes que generan el AS y mantenga monitoreo permanente. Las recomendaciones que se entregan en las siguientes láminas, se basan en la norma NIOSH, el proveedor 3M y nuestra investigación.



# Protección de la Cabina

Según el ISP (Chile), el operador de pala está expuesto a un AS de 25 veces el LPP y el operador de planta de chancado a 16 veces el LPP [13] .

Según la norma NIOSH, los operadores de equipos deben estar en una cabina presurizada libre de sílice. El aire de admisión filtrado a través de un filtro con una eficiencia del 95 % en el rango de 0,3 a 10,0  $\mu\text{m}$ . [7]



# Protección Nasal

☐  $\leq 5$  REL o LPP. Cualquier purificador de aire de media máscara con filtro de partículas de alta eficiencia.



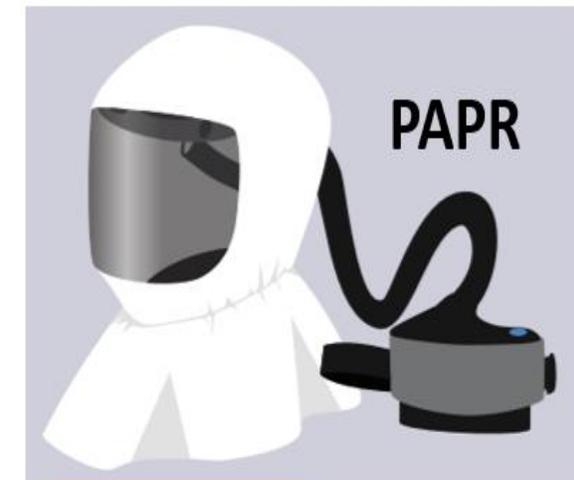
☐  $\leq 10$  REL o LPP. Cualquier purificador de aire full face con filtro de partículas de alta eficiencia.



□ **≤ 25 REL o LPP.** Cualquier respirador purificador de aire mecánico (PAPR de ajuste holgado) con FPAF, o cualquier respirador con suministro de aire equipado con una tapa y casco y operado en modalidad de flujo continuo



□ **≤ 50 REL o LPP.** Cualquier respirador purificador de aire, de cubrecara completa, con FPAE, o cualquier respirador purificador de aire mecánico (PAPR con ajuste hermético), y FPAE



Centers for Disease Control  
and Prevention  
National Institute for Occupational  
Safety and Health

# Ropa

Se ha medido la sílice en oficinas y comedores. En estos lugares se ha detectado niveles considerables de sílice. Lo más probable es que la ropa de trabajo contaminada sea la fuente.

- ❑ Según la NIOSH, los trabajadores deben cambiarse a ropas limpias antes de ingresar a comedores u oficinas



# Referencias (cont.)

[6] 40 CFR Part 50, Review of the National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter. Environmental Protection Agency (EPA), USA

[2020-27125.pdf \(govinfo.gov\)](#)

[7] 29 CFR 1910.1053, Occupational Exposure to Respirable Crystalline Silica, Occupational Safety and Health Administration (OSHA). USA

<https://www.osha.gov/silica-crystalline/general-industry-info>

[8] Salud en el Trabajo: Silicosis. Organización Internacional del Trabajo (OIT)

<https://www.ilo.org/es/resource/salud-en-el-trabajo-silicosis>

[9] Plan Nacional de Erradicación de la Silicosis (PLANESI) Chile. 2007  
[Versión FINAL\\_Plan Nacional Silicosis\\_17\\_11.FH10 \(minsal.cl\)](#)

[10] Plan Nacional para la erradicación de la Silicosis en el Perú. 2011  
[https://www.ilo.org/es/resource/plan-nacional-para-la-erradicacion-de-la-silicosis-en-el-peru-al-2030](#)

[11] PLANESI ¿Meta Real o Utopía?. Efraín Bozo Godoy, exposición realizada en Viña de Mar, en el III Congreso de Feria de Correos Transportadoras, año 2021.

[PLANESI ¿Meta Real o Utopía?](#)

[12] Norma de la OSHA sobre Sílice Cristalina Respirable para la Construcción  
<https://www.osha.gov/sites/default/files/publications/OSHA3700.pdf>

[13] Situación de Exposición Laboral a Sílice en Chile. Instituto de Salud Pública: Bélgica Bernales, Juan Alcaino y Rodrigo Solís. 2008.  
[https://www.ispch.cl/sites/default/files/Silice\\_en\\_chile.pdf](https://www.ispch.cl/sites/default/files/Silice_en_chile.pdf)

[14] Exposure to silica and silicosis among tin miners in China: exposure-response analyses and risk assessment. W Chen, Z Zhuang, M D Attfield, B T Chen, Pi Gao, J C Harrison, C Fu, J-Q Chen, W E Wallace. Occupational and Environmental Medicine. 2001.



¡Termino de la  
Clase 02!



**PROCONM**  
TRANSPORTE LIMPIO