



## Estudio de exposición a polvo y sílice cristalina en MYPEs

Fundación  
Científica y  
Tecnológica | **ACHS**



**PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN  
PREVENCIÓN DE ACCIDENTES DEL TRABAJO Y ENFERMEDADES  
PROFESIONALES LEY N° 16.744**

### Informe Final

---

## **Exposición a sílice cristalina en trabajadores de Micro y Pequeñas empresas relacionadas con vidrierías, marmolerías, artesanos en piedra y Laboratoristas dentales de la región de La Araucanía, factores asociados y modelo predictivo.**

2014-2015

#### **Investigador principal**

Juan José Orellana  
Cáceres

#### **Investigador alterno**

Ximena Marcela Ossa  
García

#### **Investigadores en orden alfabético**

Juan Alcaíno Lara

Patricio Campos  
Nella Marchetti Pareto  
Fernando Urrutia León

*Este proyecto fue realizado con el co-financiamiento de la Fundación Científica y Tecnológica de la Asociación Chilena de Seguridad (FUCYT-ACHS)*

**Santiago de Chile, agosto de 2015.**

## Resumen

La silicosis y la exposición a sílice se han asociado a la minería, sin embargo con el acceso a maquinaria eléctrica capaz de fracturar materiales que contienen sílice en partículas respirables, el riesgo se puede extender a otros rubros, como vidrierías, marmolerías, laboratoristas dentales, artesanos en piedra, entre otros. En nuestro país, dichos rubros corresponden, principalmente, a Micro y Pequeñas Empresas (MYPES), donde el nivel de exposición a sílice es desconocido.

**Objetivo:** Estimar el nivel de exposición a polvo respirable y sílice cristalina, en trabajadores pertenecientes a MYPES formales e informales, relacionadas con vidrierías, marmolerías, artesanía en piedra y laboratorios dentales de la región de La Araucanía, determinar factores asociados y elaborar un modelo predictivo.

**Metodología:** Muestra de 70 empresas seleccionada en forma aleatoria y estratificada por rubro desde un marco muestral construido a partir del registro del Servicio de Impuestos Internos para las empresas formales y con metodología "bola de nieve" en las informales. La medición de la exposición a polvo y sílice respirable se hizo en dos ocasiones por empresa, buscando el nivel máximo de exposición. Se usó el método NIOSH 7602 y para el registro continuo de exposición a polvo respirable, un muestreador en tiempo real (DustTrak) con ciclón Dorr-Oliver. Los factores sociodemográficos y laborales se obtuvieron mediante encuestas. El análisis utiliza modelos estadísticos, considerando la estructura multinivel de los datos.

**Resultados:** En total se evaluaron 58 empresas, 10 de ellas declaran pertenecer a un organismo administrador del seguro de accidentes del trabajo y de enfermedades profesionales (OAL).

Los rubros que presentaron mayor nivel de exposición a polvo y a sílice respirable son: Artesanía en piedra con un promedio geométrico para polvo y sílice respirable en  $\text{mg}/\text{m}^3$  respectivo de 4,74(0,982 – 22,83; IC95%) y 1,25(0,259 – 6,043; IC95%) y el rubro mueblería que trabajan mármol, granito y aglomerado de cuarzo; con promedio geométrico para polvo y sílice respirable respectivo de 2,68 (0,989 – 7,245; IC95%) y 0,724 (0,280– 1,875; IC95%) respectivamente.

El rubro marmolería quedó sub-representado debido a que las empresas se negaron a participar y no pudieron ser reemplazadas. Solo

dos empresas participaron aportando un total de tres mediciones con un promedio geométrico (DE) para polvo y sílice respirable en  $\text{mg}/\text{m}^3$  respectivo de 7,325(3,436) y 0,713(20,522).

En el rubro Laboratorio dental las estimaciones promedio de polvo y sílice respirable son 0,116(0,070 – 0,191; IC95%) y 0,011 (0,007 – 0,016; IC95%) respectivamente.

En el rubro vidriería debido principalmente a la gran frecuencia de actividades realizadas fuera del taller, no fue posible implementar el protocolo de toma de muestra para sílice libre en su fracción respirable. Se decidió medir polvo respirable mediante el uso de dusttrak en los lapsos de tiempo que el trabajador realizaba sus actividades dentro del taller. El promedio (DE) de tiempos de muestreo fue 109,5 (40,5) minutos. El promedio (DE) de los percentiles 25, 50 y 75 de concentración de polvo respirable ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) fueron respectivamente 0,053(0,056), 0,069(0,072) y 0,093(0,091). Adicionalmente se tomaron, dentro del taller, muestras de polvo sedimentado en sectores a la altura respirable para medir su porcentaje de sílice, obteniéndose un porcentaje promedio (DE) de sílice de 8,6% (2,9%).

Si bien se identificaron factores dentro de los procesos productivos que se asocian a la concentración de masa de polvo y sílice respirable, estos no logran ser de utilidad práctica como predictores de la exposición. Los niveles de exposición altos se asocian a deficiencias específicas en los procesos productivos, que si se superan, se solucionaría el problema de la alta exposición independiente de las variables explicativas. La deficiencia más importante es el fracturamiento en seco del material que contiene sílice.

## Índice de contenidos

Resumen .....	2
Índice de contenidos .....	4
I. Introducción .....	6
II. Marco teórico.....	7
1.1 Aerosoles.....	8
1.2 Factores asociados a la presencia de polvo en el ambiente laboral.....	11
1.3 Sílice .....	13
1.4 Exposición ocupacional a polvo y sílice cristalina libre .....	15
1.5 Importancia sanitaria de la exposición a la sílice .....	26
1.6 Salud Ocupacional y Marco Legal .....	32
1.7 Algunos resultados de la vigilancia de la exposición a sílice en Chile. 38	
1.8 Micro y pequeñas empresas y la situación de informalidad ....	42
1.9 De la región de La Araucanía .....	46
1.10 Determinantes sociales.....	47
III. Objetivos e hipótesis .....	50
IV. Desarrollo de la implementación del método .....	51
Construcción del Marco Muestral.....	51
Muestreo, medición y recolección de datos.....	53
Muestreo y tamaño de muestra .....	53
Medición y recolección de datos.....	57
III. Resultados .....	61

Objetivo 1 y 2. Estimar el nivel de exposición a polvo y sílice cristalina respirable.....	63
Objetivo 3. Determinar la fuerza de asociación de los factores sociodemográficos laborales y de condiciones de trabajo con el nivel de exposición a sílice cristalina. ....	65
Objetivo 4. Establecer un modelo estadístico de screening que estime por rubro el nivel de exposición personal en función de parámetros observables presentes en los procesos productivos.	83
Resultados aspectos éticos de la investigación.....	83
IV. Discusión.....	83
V. Conclusiones.....	86
Bibliografía .....	89
VI. Anexos.....	99
Anexo 1. Método (Metodología) .....	99
Anexo 2. Resultados construcción marco muestral .....	103
Anexo 3. Instrumentos para la recolección de datos.....	109
Anexo 4. Listado de informes de laboratorio.....	109
Anexo 5. Material audiovisual.....	110
Anexo 6. Condiciones de ventilación de los talleres .....	111

## I. Introducción

Tradicionalmente la silicosis y la exposición a sílice se han asociado a la minería; sin embargo, con el acceso generalizado a maquinaria eléctrica capaz de fracturar materiales que contienen sílice hasta el grado de partículas respirables, el riesgo se extiende a otros rubros como vidrierías, marmolerías, laboratorios dentales y artesanía en piedra, entre otros.

En 2007, el Ministerio de Salud y el Ministerio de Trabajo y Previsión Social, firmaron una declaración conjunta ratificando el compromiso del gobierno de Chile de trabajar para conseguir la erradicación de la silicosis al año 2030<sup>1</sup>. En 2009 se efectuó el lanzamiento oficial del Plan Nacional de Erradicación de la Silicosis (PlanESi)<sup>1</sup>, elaborado por dichas Secretarías de Estado y consensuado por las autoridades sanitarias regionales, los Organismos Administradores del Seguro Social contra Riesgos de Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales Ley 16.744 (OAL), y las empresas y trabajadores a través de organismos sindicales<sup>1</sup>.

En este contexto, el riesgo de exposición a sílice en la Micro y Pequeña Empresa (MYPE)<sup>ii</sup> es desconocido; especialmente en MYPE informal, definiéndose como tal aquellas que no cuentan con iniciación de actividades en el Servicio de Impuestos Internos (SII)<sup>iii</sup>, y por lo tanto carecen de la asistencia de un OAL, o están fuera de la vigilancia de la autoridad sanitaria regional.

El conocimiento acumulado ha llevado a los organismos competentes a definir de modo general las condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo y, en particular, a definir límites permisibles para jornadas de 48 horas semanales de exposición a sílice. En nuestro país, el límite se establece en 0,08 mg/m<sup>3</sup> para cuarzo

---

<sup>i</sup> Participan del PlanESi: Ministerios de Salud, del Trabajo y Previsión Social; la Superintendencia de Seguridad Social, el Instituto de Salud Pública de Chile, el Servicio Nacional de Geología y Minería, Instituto de Salud Laboral, Asociación Chilena de Seguridad, Mutual de Seguridad, Instituto de Seguridad del Trabajo, CODELCO, Universidades, representantes de las empresas y los trabajadores y los gobiernos regionales a través de sus Secretarías Ministeriales de Salud.

<sup>ii</sup> Este estudio trabajará con el concepto de Micro-Pequeñas Empresas (MYPEs) presente en el Código del Trabajo<sup>61</sup> en función del número de personas ocupadas, que señala: Micro Empresas 1 a 9 trabajadores y Pequeña Empresas: 10-49 trabajadores.

<sup>iii</sup> Se consideró que una empresa es formal si ha iniciado actividades en el Servicio de Impuestos Internos ya sea como trabajador independiente, persona natural, Empresa Individual de Responsabilidad Limitada, Sociedad de Responsabilidad Limitada o algún otro tipo de sociedad.

en su fracción respirable, para faenas hasta 1000 metros sobre el nivel del mar, indicándose factores de ajuste para jornadas laborales superiores a 48 horas y para faenas sobre 1000 metros de altura geográfica<sup>2</sup>.

La vigilancia para el cumplimiento de los protocolos está a cargo de los OAL y la fiscalización a cargo de la autoridad sanitaria regional. Una de las actividades de dicha vigilancia es la verificación del cumplimiento del Límite Permisible Ponderado de exposición para empresas donde existan trabajadores con exposición a sílice<sup>i</sup>, lo que implica realizar mediciones con expertos altamente calificados y asumir considerables costos económicos, para el análisis de muestras en laboratorios especializados. Esta situación desmotiva el empleo de mediciones cuantitativas y se suele recurrir a evaluaciones cualitativas<sup>3</sup>, las cuales consideran las condiciones generales de trabajo y de producción para asignar un nivel de riesgo. Se desconoce la validez de tales métodos respecto de las evaluaciones cuantitativas.

El objetivo de este estudio fue medir la exposición a sílice y polvo respirable en trabajadores de MYPEs de los rubros marmolería/mueblería que trabajen con mármol, vidriería, laboratorio dental y artesanía en piedra. Así también, construir una herramienta que permita estimar el nivel de exposición en forma indirecta y en función a parámetros sencillos de medir o bien observables en los procesos productivos.

## II. Marco teórico

Este estudio de Salud Pública se enmarca en el campo de la Epidemiología Ambiental que es "el estudio de los efectos sobre la salud en las poblaciones de la exposición a elementos físicos, químicos y biológicos externos al cuerpo humano, y de los factores sociales, económicos y culturales inmediatos y remotos [...] relacionados con éstos [...]"<sup>4</sup>. En particular, cuando dichos factores externos son parte del ambiente laboral y afectan la salud de los trabajadores expuestos, se hace referencia al área de la Epidemiología Ocupacional.

---

<sup>i</sup> Manual Sobre Normas Mínimas<sup>30</sup>: Cuando Existe una Evaluación de la Exposición. Todo trabajador que se desempeñe en un ambiente de trabajo cuya concentración promedio ponderada, producto de un muestreo representativo de la jornada laboral semanal, alcance el 50% o más del Límite Permisible Ponderado (LPP) de la sílice cristalina. Cuando no Existe una Evaluación de la Exposición. Todo trabajador que se desempeñe en uno o más puestos de trabajo con presencia de sílice (ver algunos ejemplos en el Anexo N° 1), y que en total represente un tiempo de exposición mayor al 30% de la jornada laboral semanal.

Este marco de referencia se desarrolla con la nomenclatura y conceptos propios de la epidemiología ambiental y ocupacional, detallando aquellos aspectos de mayor relación con los objetivos y actividades del estudio, y con menor detalle o solo señalando la bibliografía correspondiente cuando el tema no se relacione directamente con los objetivos.

En este contexto, a continuación se explican los conceptos y elementos teóricos relacionados con la exposición a sílice que permiten comprender los fundamentos, técnicas de medición, análisis y marcos regulatorios que se usa en el diseño y ejecución del estudio.

## 1.1 Aerosoles

La exposición a sílice respirable resulta de la exposición a polvo respirable que contiene sílice, que es un tipo de aerosol. Los aerosoles son sistemas de dos componentes, las partículas y el gas en el que están suspendidas. Los aerosoles pueden subdividirse de acuerdo con la forma física de las partículas y su modo de generación, pero no hay una clasificación científica estricta<sup>5</sup>. La importancia del estudio de los aerosoles en salud pública, radica en la capacidad que tienen de afectar la salud y calidad de vida de las personas.

El tamaño de una partícula<sup>i</sup>, es el parámetro de mayor importancia para su caracterización. Las propiedades aerodinámicas de las partículas se relacionan con la forma en que son transportadas en el aire, la distancia a la que pueden llegar desde la fuente de emisión y las medidas que pueden ser utilizadas para removerlas del sistema aéreo. Estas propiedades también determinan la capacidad de penetración en el sistema respiratorio humano<sup>5,6</sup>.

El tamaño de los aerosoles cubre un gran rango, que puede variar de tamaños nanométricos a milimétricos. La Figura 1 muestra un amplio rango de tamaño de partículas y definiciones de aerosoles.

La distribución de frecuencia del tamaño de partículas de la mayoría de los aerosoles, suele presentar una gran asimetría positiva por lo que, para su descripción, se debe recurrir al uso de distribuciones

---

<sup>i</sup> Definida por el diámetro de la esfera equivalente de densidad unitaria. La equivalencia se refiere que tiene las mismas propiedades aerodinámicas de la partícula en cuestión, principalmente la velocidad de decantación.



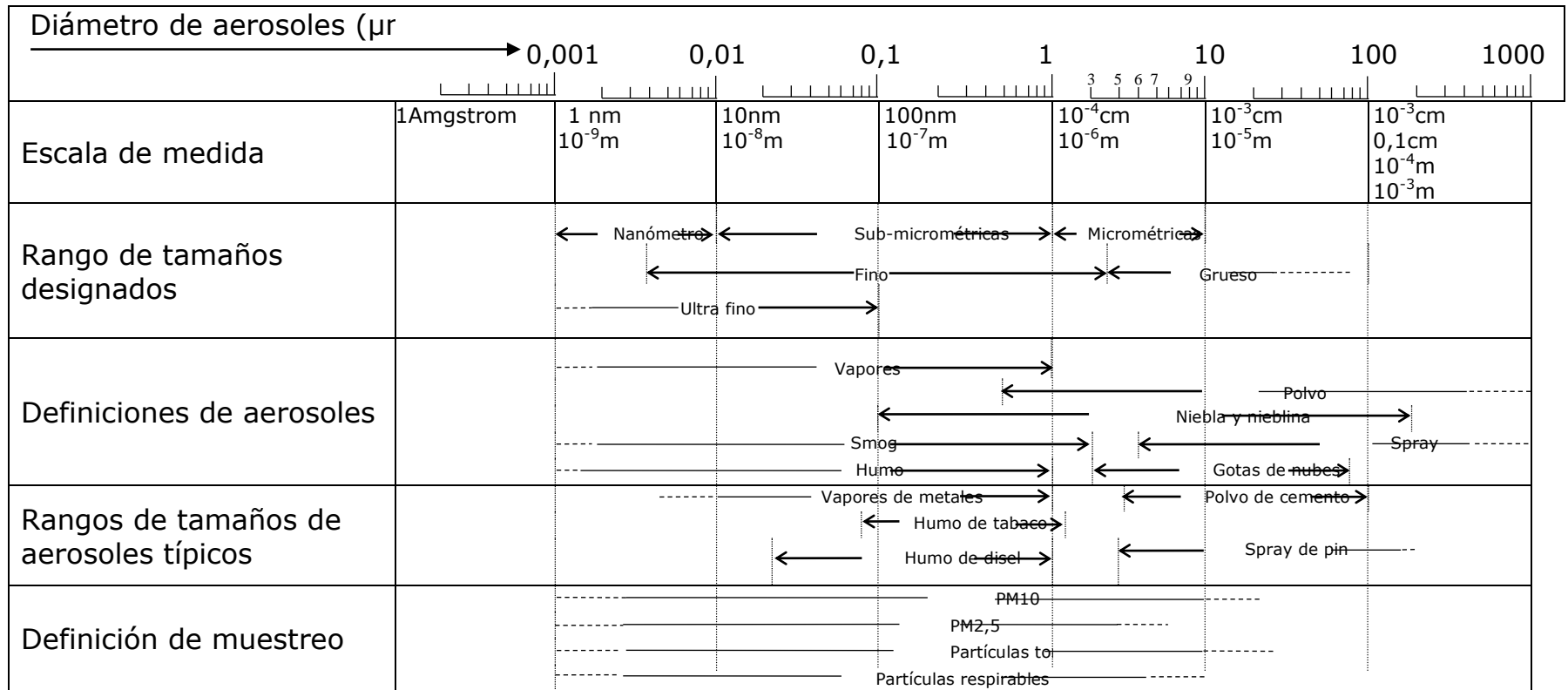
de probabilidad como la LogNormal y en consecuencia usar estadígrafos como la media y desviación estándar geométrica<sup>5</sup>.

Otra propiedad comúnmente evaluada de un aerosol es su concentración de masa, es decir, la masa de partículas en una unidad de volumen de aerosol<sup>5</sup>. Las unidades de medida generalmente usadas son gramos por metro cúbico ( $\text{g}/\text{m}^3$ ), miligramos por metro cúbico ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), o micromiligramos por metro cúbico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). La Figura 2 relaciona la concentración de masa con distintos aerosoles y parámetros referenciales.

La norma chilena estipula que el valor máximo permitido para el promedio ponderado de las concentraciones ambientales para polvos no clasificados total (exento de asbesto y con menos de un 1% de sílice), en lugares de trabajo durante la jornada normal de 8 horas diarias, con un total de 48 horas semanales, es de  $8 \text{ mg}/\text{m}^3$ .

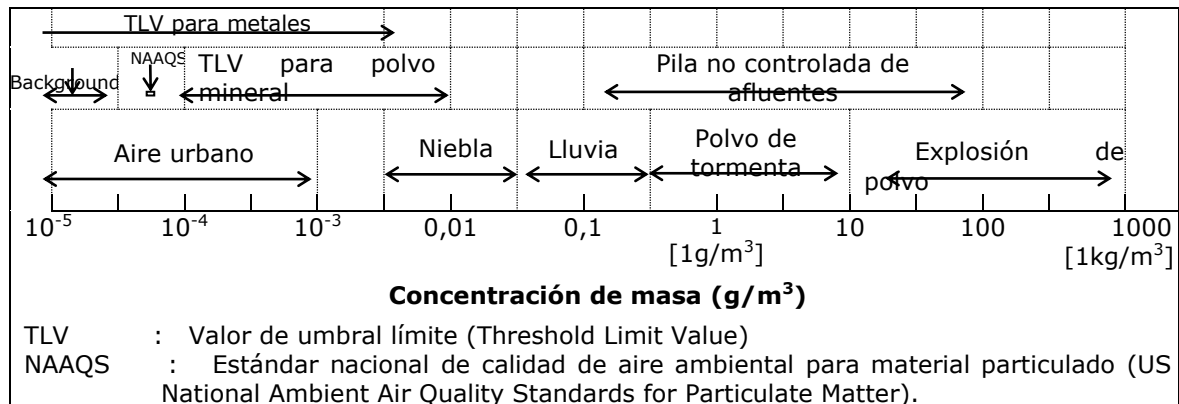
El polvo es un aerosol de partículas sólidas formada por desintegración mecánica de un material, como la trituración y molienda. Son partículas con tamaños sub-micrométricos hasta poco más de 0,1 milímetro, de forma usualmente irregular y se caracterizan por la composición química y tamaño de sus partículas<sup>5</sup>. Un ejemplo se muestra en la fotografía por microscopio electrónico de partículas micrométricas de Clinker, compuesto de silicatos de calcio base en la fabricación de un tipo de cemento (Figura 3).

Figura 1. Rango de tamaño de partículas y definiciones de aerosoles.



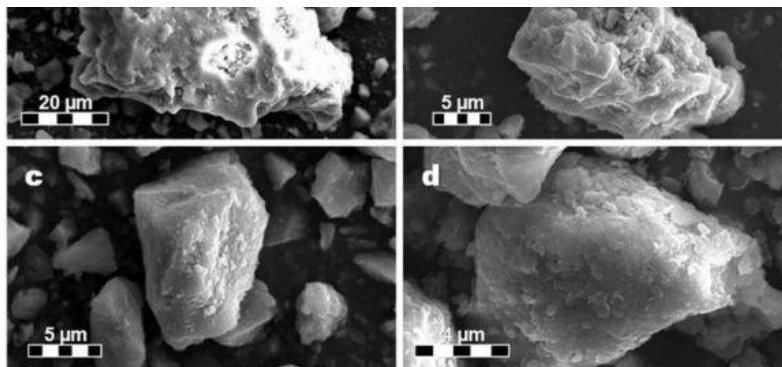
Fuente: Adaptación Figura 1.6 Aerosol Technology 2nd ed., William Hinds 1999.

Figura 2. Amplia gama de valores de concentración de masa ( $10^{-13}$  a  $10^3$  g/m<sup>3</sup>) de aerosoles hallados en la práctica.



Fuente: Adaptación Figura 1.7 Aerosol Technology 2nd ed., William Hinds 1999.

Figura 3. Partículas micrométricas naturales de Clinker.



Fuente: Henao JA et al. Petrography and application of the rietveld method to the quantitative analysis of phases of natural clinker generated by coal spontaneous combustion. *Earth Sci. Res. J.* 2010;14:17-30.

Entre los aerosoles, el polvo de origen antropogénico, producto de los procesos productivos económicos, es de relevancia para esta tesis y en particular aquellos que contengan más de un 1% de sílice.

## 1.2 Factores asociados a la presencia de polvo en el ambiente laboral.

En el ambiente laboral, las principales características del polvo son el tamaño y la composición química<sup>7</sup>. El polvo se genera por efecto del fracturamiento del material que lo contiene. Su capacidad de permanecer en el aire depende de varios factores, entre los cuales los más importantes son: los movimientos verticales del aire o circulación convectiva (que consiste en el intercambio de lugar de volúmenes de aire de mayor temperatura situados en niveles más bajos, con volúmenes de aire de menor temperatura situados en niveles más alto);

los movimientos horizontales de masas de aire por efecto de diferenciales de presión; y la velocidad de decantación que depende de la masa de la partícula<sup>8</sup>. Considerando este último factor, cualquier mecanismo que genere aglomeración de partículas aumentando la masa de la partícula resultante, provocará una decantación más rápida o dificultará la resuspensión de la misma en el aire. La industria utiliza dichos mecanismos como estrategia de mitigación de la exposición como es la humidificación de los procesos productivos<sup>9,10</sup>.

Si el tamaño de las partículas es superior a 50 micras (diámetro aerodinámico), éstas tienden a sedimentar rápidamente en el ambiente por la influencia de la gravedad (16 cm por segundo a temperatura ambiente) y si son inhaladas, es mucho menor la posibilidad que traspase las barreras de la nariz y la laringe. Cuando más pequeñas sean las partículas, sedimentan mucho más lento, permaneciendo más tiempo en el aire y pudiendo ser arrastradas por corrientes de aire hasta puntos distantes de su lugar de origen<sup>7,8</sup>.

Las partículas pequeñas al ser inhaladas pueden ser exhaladas o pueden depositarse en alguna parte del tracto respiratorio<sup>7</sup>. Si bien hay otros factores que influyen en la capacidad de penetración en el sistema respiratorio, como son la dirección y velocidad del aire cercano al cuerpo de la persona, la cadencia respiratoria y el tipo de respiración (a través de la boca o la nariz), el tamaño de las partículas es el factor más importante en salud ocupacional<sup>7,11</sup>.

La composición química de las partículas se relaciona con el tipo de reacción del organismo frente a su presencia, por ejemplo, las partículas líquidas o solubles pueden ser absorbidas por los tejidos donde se depositaron y dependiendo de su composición química será su efecto en el organismo<sup>7</sup>. Las partículas insolubles pueden ser transportadas a otra parte del tracto respiratorio o del organismo donde pueden ser absorbidas, o causar un efecto biológico, como por ejemplo inflamación y fibrosis característica de la silicosis<sup>12</sup>.

### 1.3 Sílice

La sílice ( $\text{SiO}_2$ , dióxido de silicio) es un compuesto que se encuentra en abundancia en la corteza terrestre, pudiendo existir en dos tipos de estructuras, amorfa o cristalina.

La forma más común de la sílice amorfa es la tierra Diatomeas formada por algas unicelulares fosilizadas que se caracterizan por tener una pared celular de sílice. Representa un recurso mineral biogénico relativamente abundante en Chile<sup>13</sup>, tiene uso industrial como insecticida natural, o como componente en pinturas, papel y plásticos<sup>14</sup>.

La forma de sílice cristalina se basa en una estructura tetraédrica en cuyo centro se ubica el átomo de silicio, y en las esquinas los de oxígeno. Se presenta en siete estructuras (poliformismos), de los cuales cuatro son muy escasos, siendo los más comunes el cuarzo, la tridimita y la cristobalita<sup>15</sup>. La sílice cristalina puede estar en forma libre, cuando no está unida a otros minerales o combinada como silicatos, entre los que se encuentran el asbesto, el talco y la caolinita (arcilla para la fabricación de porcelanas)<sup>12</sup>. La Tabla 1 muestra las propiedades químicas y físicas de la sílice cristalina.

Tabla 1. Propiedades químicas y físicas de la sílice cristalina.

Descripción	Transparente cristalina
Fórmula molecular	$\text{SiO}_2$
Nº CAS <sup>(*)</sup>	7631-86-91
Peso molecular	60,09g/mol
Densidad	2.65 g/cm <sup>3</sup> a 0 °C (cuarzo)
Punto de fusión	1610 °C
Punto de ebullición	2230 °C (2503.20 °K)
Solubilidad	Prácticamente insoluble en agua o ácidos, excepto ácido fluorhídrico.

(\*) Chemical Abstracts Service (CAS) de la Sociedad Americana de Química.

El cuarzo por su gran abundancia en la corteza terrestre, es considerado el nombre genérico para sílice. Está presente en innumerables materias primas. La Tabla 2 presenta un listado de

materiales usados en empresas manufactureras, con sus respectivos porcentajes (aproximados) de contenido en sílice cristalina.

Tabla 2. Materiales y su respectivo porcentaje aproximado de sílice respecto de su peso total

Material	Contenido de sílice, porcentaje del peso.
Granito	15-35%
Mármol	0-5%
Cuarcita	Superior al 95%
Pizarra	Hasta un 40%
Combarbalita (piedra utilizada por artesanos)	44% a 96% dependiendo del tipo de roca que contenga la Combarbalita <sup>16</sup> .
Compactos de cuarzo	85-100%; con presencia de cristobalita en numerosos casos.
Porcelánico Techlam de Levantina para revestimientos, pavimentos, espacios asépticos, fachadas ventiladas, construcción naval, y encimeras de cocinas.	10-15%
Yeso	0-2%
Cemento	0-10%
Arena y gravilla: Arena natural, arena de rio, bancos de arena y gravilla, gravilla molida, gravilla redonda, arena de concreto, arena de asfalto, arena mason, arena de relleno, roca y piedra fracturada	50-99%
Cerámica dental	15%

Fuente: Lafarge, hoja de datos de seguridad de materiales. Disponible en <http://www.lafarge.com.es/> Ministerio de Salud, Instituto de Salud Pública. Manual sobre normas mínimas para el desarrollo de programas de vigilancia de la silicosis.

Si bien, puede haber materiales con relativo bajo porcentaje de sílice, como es el caso del mármol natural, esto no deja al trabajo con mármol como una actividad libre de exposición a sílice. El Decreto Supremo 594, artículo 66 del Ministerio de Salud, especifica que el límite permisible ponderado de exposición a polvo no clasificados total, exentos de asbesto y con menos de 1% de sílice, es de 8 mg/m<sup>3</sup>; por lo cual se subentiende que el polvo de cualquier material con más de un 1% de sílice, conlleva riesgo para sílice. Esta definición teórica es respaldada por datos empíricos como los del Estudio Nacional de Exposición a Sílice, que reporta concentraciones promedio ponderadas

de sílice libre cristalizada de  $0,22 \text{ mg/m}^3$  en muestras de aire de una marmolería, muy por sobre la norma chilena de  $0,08 \text{ mg/m}^3$ .

La tridimita y la cristobalita resultan de la exposición del cuarzo o sílice amorfa a altas temperaturas. Puede surgir asociada a actividad volcánica o en fundiciones de minerales. También pueden surgir en la fabricación de ladrillos refractarios<sup>12</sup>.

Por la abundancia de la sílice en la corteza terrestre, cualquier actividad que fracture un material produciendo polvo, puede generar riesgo de exposición a sílice<sup>15</sup>.

#### **1.4 Exposición ocupacional a polvo y sílice cristalina libre**

La Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH), la Organización Internacional de Normalización (ISO), y la Organización Europea de Normalización (Comité Europeo de Normalización, CEN) han adoptado idénticas convenciones para aerosoles. La fracción inhalable de partículas corresponde a la fracción de un total de partículas, capaces de entrar por la nariz y la boca y depositarse en cualquier parte del tracto respiratorio. La fracción torácica corresponde a la fracción de partículas que entran en el tórax y se depositan dentro de vías pulmonares y en la región de intercambio gaseoso. La fracción respiratoria corresponde a la fracción de partículas que se depositan en la región alveolar<sup>11,17</sup>. Las definiciones anteriores se expresan en términos de un porcentaje de eficiencia de 50% de la masa de partículas que es capaz de penetrar a las secciones del aparato respiratorio. Para las fracciones inhalables, torácicas y respirables, los diámetros aerodinámicos de las partículas son 100 micras, 10 micras y 4,0 micras respectivamente.

Si bien los estándares de muestreo ambiental y ocupacional son los mismos, las mediciones ambientales generalmente miden el material particulado PM10 y PM2,5, este último dado el interés de medir contaminantes químicos de la atmósfera.

Es necesario considerar que dicha convención internacional, posiblemente esté sobre estimando el nivel de exposición real, como lo

publica Brown J. et. el año 2013, quienes reportaron una sobreestimación de la masa de partículas esperada que penetran en las vías respiratorias inferiores, encontrando que el 50% del punto de corte para la fracción torácica es 3  $\mu\text{m}$ , muy por debajo del estándar ocupacional y ambiental de 10  $\mu\text{m}$ <sup>18</sup>.

La inhalación depende de la tasa respiratoria de los sujetos, que a su vez depende entre otros factores, como del esfuerzo físico que demanda el trabajo y la altitud donde se desarrolle. A mayor altura sobre el nivel del mar o mayor esfuerzo físico, mayor es la tasa de inhalación del aire. Dichas tasas pueden variar normalmente entre 20 y 60 litros por minuto<sup>11</sup>, por esta razón los estándares de exposición se deben ajustar a la condición señalada. En particular la normativa chilena establece que en lugares de trabajo sobre 1.000 m.s.n.m, "los límites permisibles ( $\text{mg}/\text{m}^3$  y en fibras/cc), deben multiplicarse por un factor de altura (Fa), que se calcula como  $Fa = P/760$ , siendo P la presión atmosférica local<sup>2</sup>.

Se reconocen tres dimensiones de la exposición: la duración (horas o días), la concentración ( $\text{mg}/\text{m}^3$  en el aire,  $\text{mg}/\text{l}$  en agua) y la frecuencia (veces por semana). Cada una por sí sola o en forma combinada, pueden ser usadas como indicadores de exposición, y su utilización depende de la vía de exposición y el objetivo del estudio.

Así por ejemplo, si se desea conocer el nivel de riesgo de exposición a sílice que tiene un trabajador, la norma chilena indica que es necesario muestrear la exposición personal, al menos el 70% de la jornada de trabajo (8 horas) con un caudal de muestreo de aire de 1,7 litros por minutos, expresando el resultado final de concentración de sílice respirable en  $\text{mg}/\text{m}^3$ .

Los datos de exposición, obtenidos mediante técnicas que se presentarán más adelante, frecuentemente se describen mediante histograma para mostrar la distribución de frecuencia, que normalmente tienen una marcada asimetría positiva, por lo cual se describen preferentemente su logaritmo natural, o se modelan usando la distribución Log-normal. Se usan como estadígrafos de resumen la media y desviación estándar geométrica, además de rango, mínimo, máximo y percentiles. Cuando los datos provienen de muestras

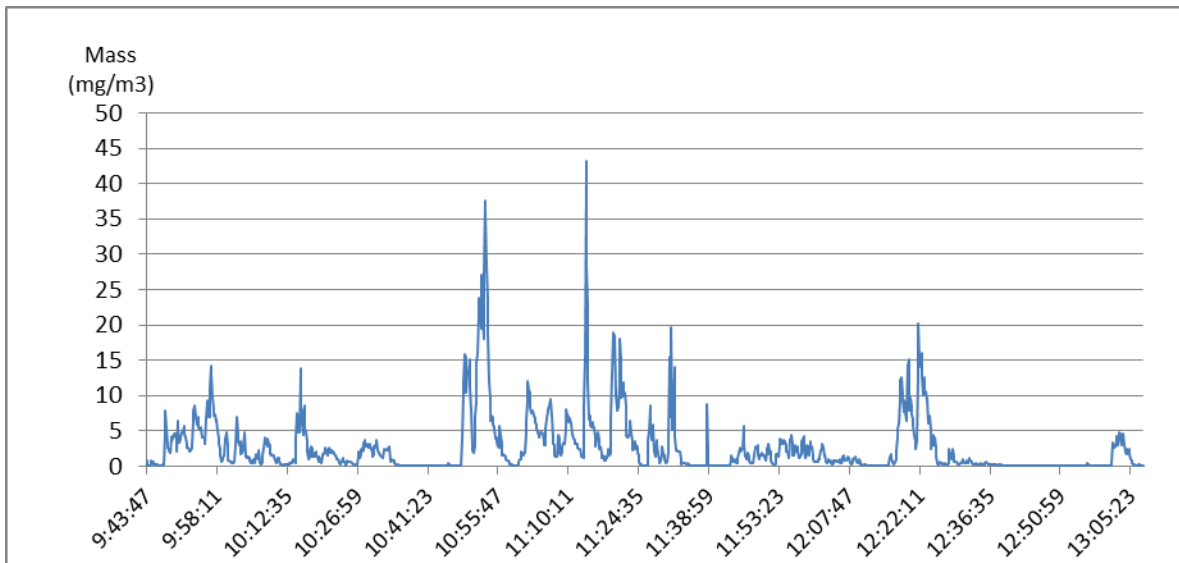


aleatorias, se suelen reportar intervalos de confianza para la media geométrica<sup>11</sup>.

Las técnicas de medición tienen limitaciones en cuanto a la concentración mínima detectable o con valor inferior al límite de cuantificación (ILC) de la técnica de análisis. En situaciones en que no se alcance a registrar dicho valor, se declara el dato como censurado, pero se han propuesto alternativas para imputarlos. Hornung and Reed (1990) sugieren imputar el dato censurado por la cantidad  $ILC/\sqrt{2}$  cuando los datos no son altamente asimétricos, y por  $ILC/2$  cuando los datos son altamente asimétricos (desviación estándar geométrica  $>3$ )<sup>11</sup>.

Las concentraciones de exposición, varían temporal y espacialmente<sup>11</sup>. En la actualidad existen instrumentos capaces de medir en tiempo real la concentración de polvo respirable presente en un lugar determinado. La Figura 4 muestra las variaciones del nivel de exposición a partículas respirables en una marmolería durante el desarrollo de actividades de corte y pulido de mármol natural, registradas en un estudio previo. Los niveles más altos se correlacionan con el aumento de la intensidad de la actividad y la ausencia de corrientes de aire naturales dentro del taller. La significación de dichos niveles está en función de límite permisible definido para estándares de seguridad, que en nuestro país, para este caso, es  $2,4 \text{ mg/m}^3$  (Artículo 66, DS594)<sup>2</sup>; observándose que el 32,5% de las mediciones superó dicho valor. Si bien dicho reglamento acepta la posibilidad de exceder momentáneamente dicho límite, no se acepta en ningún caso superarlo en cinco veces, situación que se dio por lo menos en 10 ocasiones durante la medición.

Figura 4. Variación niveles de exposición a partículas respirables en una marmolería para las actividades de corte y pulido en una mañana de trabajo.



Fuente: Datos obtenidos por el autor de esta tesis, en vías de publicación.

### ***Indicadores cualitativos de exposición a sílice***

La evaluación cuantitativa es la estrategia metodológica de mayor validez para la estimación del riesgo, sin embargo, los requerimientos técnicos que exige, el tiempo que involucra aplicarla y los costos asociados hace que sea muy difícil su implementación masiva en los programas de vigilancia<sup>19</sup>.

Una aproximación a la estimación de la presencia y grado de exposición se hace a través de la aplicación de cuestionarios, con preguntas directas a los involucrados respecto de sus actividades en los procesos productivos. Dichas preguntas pueden ser respecto de la materia prima con que trabajan, equipamiento utilizado, maquinarias y las medidas de seguridad y carga laboral. En este sentido, el Instituto de Salud Pública de Chile, a través de su Departamento de Salud Ocupacional, ha desarrollado una metodología cualitativa para evaluar exposición a sílice denominada Método de Evaluación Cualitativa del Riesgo de Exposición a Sílice (ECRES) que permite establecer el nivel de riesgo en que se encuentran las empresas asociadas y la urgencia con

que se deben realizar acciones correctivas, además de proponer variadas formas de controlar los riesgos detectados. Esta metodología se desarrolló para cuatro rubros: Laboratorios dentales, Plantas de áridos y estabilizados, Fábrica de baldosas y Fábrica de cerámicas<sup>3</sup>. Hasta el momento no se han reportado estudios que comparen los resultados de las evaluaciones cualitativas y mediciones cuantitativas realizadas en las mismas empresas.

En la práctica, el diseño de cuestionarios se hace considerando la experiencia adquirida en cuestionarios previos, siendo un trabajo recursivo de perfeccionamiento en la adaptación a la realidad del criterio experto<sup>20</sup>, sin una evaluación de validez respecto de la mediciones cuantitativa de la exposición, considerada patrón de oro.

En Europa existe un proyecto llamado Advanced Reach Tool (ART)<sup>vi</sup>, con la colaboración de los principales científicos de seis importantes organizaciones de investigación de toda Europa: TNO e IRAS de la Universidad Utrecht de los Países Bajos, BAUA de Alemania, NFA / NRCWE en Dinamarca y OIM y HSL en el Reino Unido. Este proyecto creó un sistema online para estimar el nivel de exposición ocupacional a diversas sustancias (polvo, vapores y nieblas) haciendo uso de modelos conceptuales de exposición para diferentes escenarios. ART incorpora un modelo mecanicista y una parte empírica con la información de una base de datos de exposición. Cuando hay evidencia teórica o empírica, que los datos dispuestos en dicha base de datos, son aplicables a la realidad que se desea estudiar, ambos componentes del sistema informático se pueden combinar con el fin de obtener estimaciones más precisas para situaciones de exposición específicas<sup>21</sup>.

No se ha encontrado referencias sobre estudios que midan la validez o la confiabilidad del ART, sin embargo los proponentes defienden su validez basado en el juicio de los expertos que participaron en su formulación.

---

<sup>vi</sup> <https://www.advancedreachtool.com/>

En Canadá, para el rubro de la construcción, existe una experiencia exitosa del uso de modelos estadísticos para predecir el riesgo de exposición a sílice basado en variables observables como son: actividad (corte albañilería, molienda / acabado de superficies, perforación de hormigón, etc.), lugar de la construcción (residencia, industrial, camino, etc.), control de fuente (ninguna, herramientas con alimentación de agua, espray manual), tamaño del espacio (cerrado, abierto, no reportado), ventilación (sí, no, no reportado). El modelo completo explicó 60% de la variabilidad de los datos, concluyendo que el modelo puede ser usado para estimar las concentraciones de sílice cristalina respirable para muchas actividades de construcción en una amplia gama de circunstancias<sup>22</sup>.

### ***Instrumentos y técnicas de medición***

Instrumentos de medición: La medición de la sílice cristalina ha evolucionado enormemente. En África del Sur desde la década de 1930, el polvo se recogió con un Konimeter. La técnica impactaba un volumen de aire en un porta objeto con adhesivo, esta muestra, mediante altas temperaturas y baños de ácido se aislaba y se contaba las partículas de sílice. Luego el Konimeter fue reemplazado por el precipitador térmico, que podría muestrear volúmenes de aire más grandes a altas velocidades de flujo. En Estados Unidos se utilizó el método "Impinger" desde 1922 hasta 1984 donde el aire se introduce en un líquido que contiene una trampa, las partículas en una alícuota del fluido se cuentan con una lupa, y las concentraciones se expresaron como millones de partículas por pie cúbico de aire muestreado<sup>23</sup>.

Ante la necesidad de seleccionar las partículas respirables de entre otras más grandes que son atrapadas por las barreras propias del sistema respiratorio, se desarrollaron dispositivos como los filtros colectores de polvo de tamaño específico, alicuotadores placas horizontales en Sudáfrica y ciclones en los Estados Unidos. Los tamaños de partículas recogidas en el filtro eran una función del aparato utilizado y la tasa de flujo de aire a través del aparato<sup>23</sup>.

Mediante estudios experimentales se construyeron las curvas de eficiencia de muestreo, internacionalmente aceptadas, que expresaban

el porcentaje de partículas que penetraban o se depositaban en las distintas secciones del aparato respiratorio, determinándose así el tamaño de las partículas asociadas a la fracción inhalable, torácica y respirable, descritas anteriormente. Todos los aparatos muestreadores deben ajustarse a dichas curvas.

Entre los muestreadores más usados están los ciclones de muestreo como son: 10mm de nylon (por ejemplo Dorr Oliver), Higgins-Dewell y Aluminum. Para la cuantificación de polvo respirable, estos dispositivos se ensamblan en un tren de muestreo que incluye un cabezal de muestreo con un filtro de policloruro de vinilo (PVC) de 37 mm de diámetro y 5 micrómetros de tamaño de poro, colocado en un porta filtro de dos cuerpos, y una bomba de muestreo portátil. Los trenes de muestreo son calibrados para caudales de flujo entre 1,667 L/min y 1,724 L/min. En nuestro país existe un protocolo para la toma de muestra de sílice libre cristalizada en su fracción respirable y de polvo no clasificado total y fracción respirable, elaborado por el Departamento de Salud Ocupacional del Instituto de Salud Pública (ISP)<sup>24</sup>, donde se describen los instrumentos y procedimientos de medición.

Técnicas de medición: Los pesos previo y posterior al muestreo de los filtros de PVC permiten cuantificar la masa de polvo total y respirable, mediante el método gravimétrico, para lo cual el Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional de Estados Unidos (NIOSH, National Institute for Occupational Safety and Health) ha desarrollado dos metodologías ampliamente utilizadas por los laboratorios especializados, ellas son NIOSH 0500 y 0600<sup>25,26</sup>. La masa total y respirable obtenidas por estas metodologías son consideradas los patrones oro para otras metodologías.

La aplicación de estas metodologías de muestreo y análisis para sílice y polvo, requieren personal capacitado, son costosas y lentas para obtener los resultados del análisis. Actualmente existen equipos de sofisticada tecnología que permiten medir en tiempo real la concentración de masa de polvo a la que pueden estar expuestas las personas en sus puestos de trabajo. Con estos instrumentos y mediante el uso de ciclones de muestreo o impactadores de partículas, es posible determinar la concentración de masa de polvo respirable o de diferentes

tamaño de partículas. Un ejemplo de estos instrumentos es el equipo TSI™, Dust Trak II Aerosol Monitor modelo 8532 con un ciclón Doll-Oliver para material particulado respirable o PM10, PM4 y PM2,5 al usar el impactador de partículas correspondiente.

La selección de partículas con los ciclones de muestreo entrega un valor de masa de exposición, sin diferenciar el tipo de partículas o su composición química. Para la cuantificación de análisis químico-físico del material recolectado, actualmente se utilizan tres 3 técnicas: para el análisis de muestras de sílice: Espectrofotometría UV visible, Espectrofotometría Infrarrojo (FTIR) y Difracción de rayos X. La primera tiene como desventajas que solo es capaz de cuantificar sílice cristalina desde 10µg, no discrimina el tipo de sílice cristalina, se desconoce su precisión en la estimación y no entrega resultados en forma eficiente<sup>15,27</sup>. El segundo método, cuantifica cuarzo desde los 5µg por muestra; bajo ciertas condiciones, es posible discriminar entre los poliformismos pero se desconoce su nivel de precisión en la estimación, y si incurre en algún tipo de sesgo<sup>28</sup>. El tercer método de análisis, internacionalmente reconocido, para sílice es el Método NIOSH 7500 por Difracción de Rayos X (XRD)<sup>29</sup>, que tiene un límite inferior de detección desde 5µg por muestra, es capaz de diferenciar las diferentes formas de sílice cristalina libre y distinguir la mayoría de las interferencias, reportándose una precisión de ±18%, sin evidencias de sesgo en la estimación.

El método NIOSH 7500 especifica las características de equipo y técnica de muestreo, para obtener la valoración del nivel de exposición a sílice cristianizada mediante el método XRD exigiendo un volumen mínimo y máximo de muestreo de 400 y 1000 litros<sup>29</sup>, equivalente 3,9 horas de muestreo mínimo y 9,8 de máximo, al flojo especificado.

### ***Evaluación de la exposición***

La literatura técnica describe diferentes enfoques para evaluar la exposición a fuentes contaminantes, las dos principales son la evaluación ambiental de áreas homogéneas y la evaluación personal de exposición<sup>11</sup>. Existen otros métodos indirectos de la valoración de la exposición que incluyen la distancia al sitio donde la exposición puede

ser asumida, el tiempo de duración de la exposición, o a través de indicadores combinados como, por ejemplo, a partir del contenido de sílice de la materia prima, la ocurrencia de fracturamiento del material durante el proceso productivo y el tipo de espacio de trabajo (cerrado o abierto/ metraje)<sup>30</sup>.

### ***Evaluación por áreas o ambiental***

La evaluación ambiental de áreas homogéneas, también conocida como la metodología de Matriz de Exposición Laboral (MEL), consiste en hacer una lista exhaustiva de los puestos de trabajo o grupos de puestos de trabajo de acuerdo a criterio de experto, quienes podrían formar grupos homogéneos de exposición, en función, por ejemplo, de las materias primas con que trabajan y el tipo de proceso productivo que realizan. Dicho listado se contrasta con los agentes de exposición de interés, generando una matriz que en sus celdas contendrá: la presencia, intensidad, frecuencia o probabilidad de exposición para el agente específico en un trabajo específico. La validez de la metodología MEL dependerá del grado de homogeneidad de los puestos de trabajo en relación al nivel de exposición. Si dicho supuesto no se cumple, habrán actividades dentro de los puestos de trabajo con niveles de exposición muy diferente al promedio, haciendo que la estimación no sea válida, sobreestimando o subestimando el verdadero nivel de exposición. Para evitar el problema de heterogeneidad dentro de los puestos de trabajo, se ha propuesto reemplazar los puestos de trabajo por grupos de tareas específicas, construyendo así las Matrices de Exposición de Tareas (MET), en inglés Task Exposure Matrix<sup>31</sup>

Esta metodología MEL se ha aplicado en numerosos estudios en epidemiología ocupacional sobre temas de exposición a polvo respirable, solventes, sílice y metales, entre otros. Un ejemplo de esto es el estudio de Estudio de la Exposición a Sílice del ISP en Chile los años 2004-2005<sup>32</sup>.

Se reconocen ciertas debilidades de la metodología MEL como su baja sensibilidad y bajo nivel de acuerdo con métodos establecidos como de mayor confianza por los expertos. Esto se explica por el número de actividades a incluir y las diferentes circunstancias en que se produce la

exposición ocupacional. Otra importante debilidad de la metodología MEL es que no es posible cuantificar la variabilidad dentro de los puestos de trabajo<sup>33</sup>.

### ***Evaluación personal de la exposición.***

La evaluación de la exposición personal implica que el trabajador, al cual se medirá su nivel de exposición al contaminante, debe usar instrumentos que miden el nivel de exposición mientras realiza su actividad laboral.

El monitoreo de la exposición personal a contaminantes aéreos se reconoce como una alternativa más informativa, con los inconvenientes de ser más laborioso y de mayor costo que el ambiental. Un posible inconveniente de las evaluaciones personales de exposición, puede ser las dificultades metodológica que surgen cuando se desea monitorear muestras representativas de trabajadores<sup>34</sup>. La validez de las mediciones de exposición depende de las condiciones de implementación y su representatividad de la jornada laboral. Por lo cual, en ciertas ocasiones, es posible que las mediciones ambientales sean mejores que las personales, como lo fue expresado por Nieuwenhuijsen (2003), “[...] varias áreas evaluadas pueden ser mejores que pocas mediciones de exposición personal cuantificadas”<sup>11</sup>.

Claramente las mediciones de exposición pueden variar en el tiempo debido a variaciones en los procesos productivos, técnicas de trabajo del operario, siendo muchas veces necesario evaluar más de una vez a un trabajador, más de un trabajador por puesto de trabajo y en tiempos representativos de la jornada laboral.

### ***Exposición a sílice cristalina para la incidencia de silicosis***

Tanto la progresión de la enfermedad pulmonar como el período de latencia antes de la manifestación de los síntomas se correlacionan con la intensidad de la exposición a la sílice<sup>49</sup>.

Diversos estudios han relacionado cuantitativamente el nivel de exposición ocupacional a polvo y sílice y el desarrollo de silicosis. Se han



propuestos modelos matemáticos exposición-respuesta para diversos rubros. Hardrock miners en Ontario, Canada (Muir et al., 1989), Gray iron foundry workers (Rosenman et al., 1996), White South African gold miners (Hnizdo and Sluis-Cremer, 1993), Ceramic workers (Cavariani et al., 1995; Legrand-Cattan et al. (1998). Estos estudios, que usan diferentes diseños epidemiológicos, relacionaron la exposición acumulada a sílice respirable con el diagnóstico de silicosis, proponiendo modelos estadísticos tipo Weibull que expresan el riesgo acumulado de silicosis en función a la exposición acumulada anual a sílice, así también exploran la relación dosis-respuesta<sup>23</sup>.

Un reciente estudio canadiense de casos y controles asoció la exposición ocupacional a sílice cristalina y el riesgo de cáncer de pulmón. Se estudió como la tendencia a aumentar el riesgo, en función del aumento del nivel de exposición a sílice, controlando por la presencia de carcinógenos pulmonares, mediante modelos estadísticos multiplicativos. Se encontró una asociación estadísticamente significativa e independiente de la condición de fumar (activa y pasiva), así también a la exposición a otros carcinógenos pulmonares, para cualquier nivel de exposición ocupacional a sílice<sup>43</sup>.

Entre los rubros estudiados, las empresas de cerámicas pudieran estar más cerca de la realidad esperada para la población objetivo de esta tesis. En el estudio de trabajadores de cerámicas (Cavariani, 1995) el diseño epidemiológico utilizado fue de cohorte. La cohorte fue reclutada entre 1974 y 1987 con 2.480 trabajadores, y seguida hasta 1991; se encontró un riesgo acumulado de silicosis de 48% (95%IC 41,5-54,9) tras 30 años de exposición, aumentando linealmente en el lapso de 25 a 29 años de empleo. Coherentemente, se observó una razón de hazards de 14,6 (95%IC 8,6-24,9) entre los trabajadores con más de 30 años de empleo, respecto de los con 10 o menos años.

### ***Muestreo y análisis de datos en evaluaciones de exposición personal***

Para estimar el nivel de exposición personal a contaminantes en una población determinada de trabajadores, se deben hacer mediciones de la exposición durante un porcentaje importante del desarrollo de la

actividad laboral en todos los puestos de trabajo que se desea evaluar. El diseño de recolección de datos debe capturar la realidad heterogénea de exposición de los trabajadores por lo cual se debe considerar las distintas fuentes de variabilidad<sup>34</sup>.

En la evaluación personal de exposición, se debe considerar la variabilidad entre puestos de trabajo (idealmente tareas o grupos de tareas dentro de los puestos de trabajo), dentro de los puestos de trabajo y la variabilidad en la exposición en un mismo sujeto en tiempos distintos. Por lo cual la población objetivo deberá ser estratificada en puesto de trabajo o de tareas específicas, seleccionando en cada estrato muestras representativas y así aplicar las herramientas de estadística inferencial<sup>34</sup>.

El uso de modelos estadísticos que consideren las principales fuentes de variación y la estructura de correlaciones de los datos se hace necesario. Una alternativa son los Modelos Multinivel<sup>35</sup>.

## **1.5 Importancia sanitaria de la exposición a la sílice**

Tras la exposición de polvo de sílice respirable, hay evidencias de efectos previos a la aparición de la silicosis. Una revisión sistemática de la literatura concluye que niveles más bajos y crónicos de exposición de sílice pueden conducir al desarrollo de enfisema, bronquitis crónica, o enfermedad de las vías respiratorias por polvo mineral (mineral dust airways disease); que puede conducir a la obstrucción del flujo del aire, incluso en ausencia de signos radiológicos de silicosis<sup>36</sup>.

Los individuos expuestos a la sílice, con o sin silicosis tienen mayor riesgo de tuberculosis y micobacterias no tuberculosas. Dependiendo de la gravedad de la enfermedad subyacente, el riesgo de pacientes con silicosis de desarrollar tuberculosis varía desde 2,8 y 39 veces mayor respecto de controles sanos<sup>37</sup>.

Si bien hay evidencias de enfermedades extrapulmonares causadas por las partículas de sílice que han sido inhaladas o ingeridas (nódulos silicóticos en el hígado, bazo y médula ósea, enfermedad de los

ganglios linfáticos regionales), aún hay divisiones de opiniones de la verdadera relación de causalidad<sup>38</sup>.

Tras la aparición de la silicosis, los casos más graves incluyen la bronquitis crónica y cáncer de pulmón<sup>36,37,39-44</sup>.

Un estudio de los 38 casos de trasplantados de pulmón entre 1999 y 2006 en Chile, reportó cuatro casos con silicosis avanzada como patología de base. De éstos, dos pacientes eran mineros, uno trabajaba en molienda de cuarzo y el cuarto era laboratorista dental. El tiempo de exposición varió entre 5 y 30 años<sup>45</sup>. Claramente estos datos solo reflejan el extremo de la enfermedad, y no la carga de enfermedad que la población de trabajadores pudiera tener.

En ausencia de tratamiento efectivo de las enfermedades relacionadas con la exposición a sílice, la única solución es la prevención primaria. El desconocimiento de los riesgos en la población de trabajadores con posible exposición, hace que la educación preventiva sea uno de los objetivos del Plan Nacional de Erradicación de la silicosis<sup>1</sup>.

## **Silicosis**

La silicosis, enfermedad pulmonar secundaria a la inhalación de sílice cristalina, es una enfermedad ocupacional irreversible, pero potencialmente prevenible<sup>38</sup>. La actividad laboral que comúnmente se ha asociado con la exposición al polvo de sílice es la minería; sin embargo, actividades laborales que tienen potencial exposición a sílice son tan diversas como posibilidades existen de trabajar con compuestos que la contengan.

Se pueden presentar tres tipos de silicosis, que suelen estar relacionadas con las concentraciones de sílice cristalina en el ambiente y el tiempo de exposición<sup>46</sup>.

**“Silicosis crónica:** Es la más común de las formas clínicas. Habitualmente, la silicosis se presenta tras 10 años o más de exposición a concentraciones de sílice relativamente más bajas. Sin embargo, esta forma crónica suele desarrollarse en plazos menores cuando se trata del trabajo con cuarzo y pizarra, así como en el trabajo con aglomerados de

cuarzo o materiales porcelánicos. Al trabajar con ellos sin protección ni ventilación, producen este tipo de silicosis en un tiempo breve, tal y como se ha podido observar en colocadores de encimeras de cocinas y baños, por citar un ejemplo. Esta forma crónica tiene a su vez dos formas clínicas:

- Simple: Se caracteriza por un patrón nodular en la radiografía de tórax, en la que se observan nódulos menores de 1 cm. No suele producir sintomatología ni cambios en la esperanza de vida respecto a la población general. La mayor complicación es su evolución a silicosis complicada.
- Complicada: Se caracteriza por la presencia de masas llamadas de fibrosis masiva progresiva (FMP), en la que se observan nódulos mayores de 1 cm. Sus síntomas principales son la tos crónica y la disnea, y disminuye la esperanza de vida de quien la padece. Los déficits, tanto obstructivos como restrictivos, son comunes en esta forma clínica, lo mismo que una disminución en la capacidad de difusión. Esta forma clínica se puede complicar con tuberculosis pulmonar, con neumotórax, con cavitaciones de las masas de fibrosis progresivas por necrosis de las mismas o por micobacterias, y con esclerodermia.

**Silicosis aguda:** Es mucho menos común. Es una forma clínica rápidamente progresiva que puede evolucionar en corto período de tiempo, después de exposiciones intensas a sílice. La sintomatología puede presentarse y desarrollarse en un período comprendido entre las pocas semanas y hasta los cinco años tras la exposición inicial. Es una forma clínica de mal pronóstico. Las características patológicas recuerdan a las de la proteinosis alveolar, y en ocasiones se la denomina silicoproteinosis. Radiológicamente se observa un patrón acinar similar al edema de pulmón. Sus síntomas principales son: Tos, disnea grave y pérdida de peso.

**Silicosis acelerada:** Es una forma clínica que aparece después de 2 a 5 años a partir de la primera exposición. Está causada por altos niveles de exposición. La silicosis acelerada tiende a progresar más rápidamente hacia la silicosis complicada y es más frecuente que se complique con una tuberculosis pulmonar que la silicosis crónica. Radiológicamente

suele observarse un patrón nodular de profusión elevada con rápida evolución a la coalescencia<sup>vii</sup>”.

A principios del siglo XX la zona norte de Chile presentaba una alta prevalencia de esta enfermedad entre los mineros, por lo que las medidas de protección, prevención y detección oportuna se concentraron en esa zona<sup>47</sup>.

### ***Patogénesis de la silicosis***

La patogénesis de la silicosis no se ha determinado aún en forma exacta. La mayor parte de la información sobre la respuesta pulmonar a la sílice proviene de experimentación con modelos animales, los que han permitido dilucidar muchos de los cambios celulares y moleculares que podrían tener un papel en la patogénesis de la enfermedad pulmonar inducida por exposición a sílice. Este proceso comienza con la inhalación de partículas de sílice cristalizada, las que se depositan en los espacios alveolares<sup>12</sup>. Como se mencionó anteriormente, la penetración de partículas en el sistema respiratorio depende principalmente de su tamaño, reconociéndose tres fracciones o categorías de partículas, inhalable, torácica y respiratoria<sup>11,17</sup>. Aquellas con diámetros entre 0,5 y 3µm se depositan en zonas periféricas del pulmón y tienen más posibilidades de ser retenidas en el acino pulmonar, las partículas de mayor diámetro se depositan en vías aéreas altas, y son posteriormente eliminadas<sup>48</sup>.

Cuando existe exposición a sílice pura, como en el caso de mineros de oro, una carga total de sílice retenido de 1 a 3 g es suficiente para producir silicosis. Por otra parte, cuando existe exposición concomitante a otros tipos de polvo, como en los mineros de carbón, la misma cantidad de sílice produce sustancialmente menos silicosis. La composición química superficial también tiene un papel en la patogenicidad del polvo de sílice; si se trata de material recién fracturado su toxicidad es mayor que la de la sílice libre antigua, presumiblemente por aumento en su potencial oxidativo, ya que la

---

<sup>vii</sup> La coalescencia es la posibilidad de dos o más materiales de unirse en un único cuerpo.

superficie fresca es altamente reactiva con hidrógeno, oxígeno, carbono y nitrógeno. Se producen radicales libres de silicio ( $\text{Si}^\cdot$ ) y monóxido de silicio ( $\text{SiO}^\cdot$ ), los que tienen el potencial de reaccionar con agua y producir el dañino radical hidroxilo ( $\text{OH}^\cdot$ ). Este hallazgo es relevante, ya que se ha observado que la silicosis aguda se presenta más frecuentemente en actividades industriales donde la sílice es fracturada inmediatamente antes de la inhalación<sup>12</sup>.

El evento clave de la génesis de la silicosis es la interacción entre las partículas de sílice y el macrófago alveolar, célula fagocitaria primaria en el espacio alveolar, lo que genera un proceso inflamatorio y fibrótico. La partícula de sílice es fagocitada por el macrófago alveolar, lo cual lo destruye y provoca liberación de enzimas proteolíticas. A su vez, la sílice intracelular liberada en este proceso es fagocitada por otros macrófagos, lo que provoca un ciclo de fagocitosis por el macrófago, muerte celular, liberación de enzimas intracelulares y recaptación de sílice, perpetuando de este modo el proceso inflamatorio e iniciando el proceso de fibrogénesis. Los macrófagos dañados por la sílice liberan oxidantes citotóxicos o citoquinas inflamatorias tales como factor de necrosis tumoral  $\alpha$  (TNF- $\alpha$ ) e interleuquina 1 (IL-1), así como también metabolitos de ácido araquidónico. Estos a su vez provocan reclutamiento de células inflamatorias en la pared alveolar y superficie del epitelio alveolar, lo que desencadena alveolitis. Las células inflamatorias reclutadas liberan componentes oxidativos nocivos y enzimas proteolíticas, las que causan daño celular y destrucción de la matriz extracelular, lo que inicia el proceso de fibrosis. Adicionalmente, varios tipos de células del sistema inmune, tales como neutrófilos, linfocitos T y mastocitos están involucrados en el proceso de fibrosis<sup>12</sup>.

### ***Prevención de la silicosis***

Las medidas recomendadas para reducir el riesgo de enfermedad incluyen legislación para el control de la exposición aérea al polvo en el lugar de trabajo, educación sobre los riesgos y uso de dispositivos de protección y desarrollo de ingeniería en métodos para controlar el polvo<sup>50</sup>. A pesar de que se han desarrollado tecnologías capaces de reducir considerablemente la concentración respirable de polvo en el sector de la construcción<sup>10,51</sup>, estos métodos aún requieren mayor

desarrollo para reducir efectivamente la exposición<sup>9</sup>. La protección respiratoria es la medida preventiva más utilizada en la industria de la construcción, sin embargo, es necesaria la combinación de varios métodos de control para reducir la exposición a límites aceptables<sup>9,51</sup>.

Un estudio realizado por Tjoe et al.<sup>51</sup> reveló que existe una tendencia a sub-utilizar medidas para controlar la exposición al sílice entre trabajadores del sector de la construcción con mayor edad y experiencia. Otros estudios acerca de la utilización de medidas para prevenir enfermedades laborales muestran que esta conducta no depende solo de que se cuente con los elementos necesarios, sino que depende tanto de factores individuales como del lugar de trabajo<sup>52</sup>. En relación con lo anterior, un factor relevante es la percepción del riesgo al que se está expuesto<sup>53,54</sup>, la que está condicionada, entre otros factores, por el conocimiento de los efectos de la exposición y la cultura del lugar de trabajo en relación con la protección<sup>54</sup>. A pesar de la relevancia de los factores mencionados en la utilización de medidas preventivas para enfermedades laborales, y la severidad de las consecuencias de la exposición al polvo de sílice, no se encontraron estudios sobre estos aspectos en este grupo de trabajadores, ya que los estudios mencionados se refieren a la exposición a la radiación solar<sup>52,54</sup> y el asbesto<sup>53</sup>. La mayor parte de las publicaciones se refieren a las áreas mencionadas y otras similares, sin embargo, existe una evidente falta de información en relación con los factores que determinan la utilización de protección en situaciones de exposición al polvo de sílice.

Al respecto la Unión Europea ha establecido medidas jerárquicas para ser usadas por los empleadores para reducir el riesgo en los lugares de trabajo ellas son: “[...]”

1. Eliminación de la necesidad del uso de sustancias (prevención de exposición).
2. Substitución con sustancias menos riesgosas.
3. Uso de medidas técnicas y organizacionales para reducir la exposición.
4. Como último recurso, el uso de protección personal de los trabajadores<sup>55</sup>.

La realidad de la MYPEs de Latinoamérica y en particular de nuestro país, impide la adopción de las medidas sistémicas de reemplazo de materias riesgosas; incluso dificulta la adopción de medidas organizacionales ingenieriles de mitigación de la exposición, por su alto costo económico. Los empresarios no visualizan resultados en el corto o mediano plazo de dichas intervenciones, lo cual, sumado al desconocimiento de aspectos básicos de salud y seguridad en el trabajo hacen que las medidas de protección personal no sean de gran efectividad

## **1.6 Salud Ocupacional y Marco Legal**

El año 2008 tuvo lugar el XVIII Congreso sobre Seguridad y Salud en el Trabajo en Seúl Corea. Allí los participantes firmaron la “Declaración de Seúl sobre Seguridad y Salud en el trabajo” que afirma que un ambiente de trabajo seguro y saludable es un derecho humano fundamental.

En Chile, en el año 1931 se crea el primer Código del Trabajo y en 1958 las primeras mutuales de seguridad por iniciativa de privados. En 1968 se crea la Ley 16.744 que establece normas sobre Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales, además de la obligatoriedad del Seguro Social contra Riesgos de Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales. Como resultado de esta Ley, se normalizan las iniciativas privadas y estatales en la administración del seguro laboral, reconociendo la Asociación Chilena de Seguridad, Mutual de la Cámara Chilena de la Construcción, Instituto de Seguridad del Trabajo y el Instituto de Seguridad Laboral y más adelante, las de Administración Delegada del Seguro (CODELCO y Pontificia Universidad Católica de Chile), como Organismos Administradores del Seguro Social contra Riesgos de Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales, Ley 16.744<sup>viii</sup>.

---

<sup>viii</sup> Fuentes de referencia: sitios web de los respectivas OAL.



Las principales características del seguro social de la Ley 16.744 son: su carácter obligatorio e irrenunciable para el trabajador, la afiliación automática, la cobertura desde que el trabajador empieza a trabajar para todos los riesgos laborales, y de manera integral (preventivo, curativo y rehabilitador), que aplica aún si el empleador adeuda cotizaciones. Si el empleador no está afiliado a una mutualidad privada, se entiende que adscribe al sistema de gestión pública, es decir al Instituto de Seguridad Laboral (ISL).

En general, el rol de los OAL es administrar el Seguro con eficiencia y eficacia, asegurando el respeto de los derechos de los trabajadores, ejerciendo oportuna y adecuadamente las acciones de prevención, capacitando y asesorando a las empresas, departamentos de prevención y comités paritarios y entregando las prestaciones médicas y económicas con adecuados niveles o estándares de calidad y oportunidad. Como lo establece en la letra g) el artículo 72, del D.S. 101 de 1968 del Ministerio del Trabajo y Previsión Social, los OAL deben desarrollar actividades de vigilancia epidemiológica al momento de establecerse la presencia de factores de riesgo que así lo ameriten o de diagnosticar en los trabajadores alguna enfermedad laboral.

Para el caso particular de la exposición laboral a sílice, se dispone de un Manual de Normas Mínimas para el Desarrollo de Programas de Vigilancia de la Silicosis, del Ministerio de Salud<sup>30</sup> que es de carácter obligatorio. La vigilancia debe estar en relación al nivel de exposición ambiental medido en la empresa según el cual, se señalan, las acciones a seguir por los OAL y la autoridad sanitaria regional correspondiente a la empresa (notas al pie, Tabla 3).

Tabla 3. Periodicidad de la Vigilancia Ambiental en Relación al Límite Permisible Ponderado (LPP).

Nivel de riesgo	Nº de veces concentración supera el LPP	Periodicidad del muestreo. Muestras ambientales cada:
1	$< 0,25 \cdot \text{LPP}$	5 años
2	$\geq 0,25 \cdot \text{LPP}$ y $\leq 0,50 \cdot \text{LPP}$	3 años
3	$> 0,50 \cdot \text{LPP}$ y $\leq 1,00 \cdot \text{LPP}$	2 años
4	$> 1,00 \cdot \text{LPP}$	Ver nota d)

Notas:

- a) Los LPP deberán ser corregidos por extensión horaria y por altura cuando corresponda de acuerdo a lo establecido en el D.S. Nº 594, de 1999, del Ministerio de Salud.
- b) Para los Niveles de Riesgo 1, 2 y 3 siempre deberán implementarse mejoras en los procesos productivos considerando que la sílice es una sustancia cancerígena (IARC, 1996).
- c) Para el Nivel de Riesgo 4 el organismo administrador deberá señalar las medidas de control que deberá adoptar la empresa, informando de esta situación a la Autoridad Sanitaria Regional (ASR) correspondiente. Hechas las correcciones el organismo administrador deberá hacer un nuevo muestreo para evaluar su eficacia, dentro de los plazos establecidos por la ASR. Luego, en función de la nueva concentración ambiental encontrada se deberá reclasificar a la empresa en el Nivel de Riesgo que corresponde.
- d) Cada vez que se produzca un cambio importante en el proceso productivo o haya un aumento significativo de la producción, el organismo administrador deberá realizar una nueva evaluación para determinar el nuevo Nivel de Riesgo en que se encuentra la empresa. Si este corresponde a 4 se aplicará lo establecido en Nota c).
- e) Sin perjuicio de lo señalado en notas precedentes, la ASR podrá, de acuerdo a la potestad que le otorga el Código Sanitario, solicitar evaluaciones ambientales cuando lo estime necesario de acuerdo a fundamentos técnicos.

**Fuente:** Adaptación Tabla 2, Manual de Normas Mínimas para el Desarrollo de Programas de Vigilancia de la Silicosis, del Ministerio de Salud<sup>30</sup>.

En el mismo Manual, se detallan normas mínimas para el desarrollo de un programa de vigilancia de la salud de los trabajadores expuestos a sílice. Dichas normas incluyen el cribado por silicosis y otras patologías asociadas a los trabajadores expuestos a sílice. La frecuencia de estas evaluaciones está en función a la presencia de mediciones ambientales, al grado de exposición, número de años de exposición y tipo de trabajo.

A pesar de la obligatoriedad de la aplicación del Manual de Normas Mínimas, los OAL no tienen capacidad para cubrir todas sus empresas afiliadas con posible exposición a sílice. Este hecho se ha reconocido abiertamente en las reuniones del PlanESi, y afectan principalmente a las empresas no mineras y probablemente las de menor tamaño.

Otro elemento relevante es que el seguro de la Ley 16.744 es voluntario para los trabajadores independientes, por los que si estos no cotizan, no recibirán los beneficios del seguro. Así mismo, los trabajadores de empresas sin iniciación de actividades en el SII, tampoco tienen acceso a los beneficios de dicha Ley.

En nuestro país la protección de la salud de los trabajadores se enmarca en el Constitución Política del Estado, código del trabajo, tres

leyes básicas, numerosos decretos supremos, circulares, resoluciones y guías técnicas<sup>56</sup>.

- Constitución Política del Estado de Chile<sup>57</sup>, Artículo 1 sobre la protección de las personas, Artículo 19 sobre el respeto de la vida privada, protección y promoción de la salud, libertad de trabajo y su protección y el derecho a la seguridad social.
- Ley 16.744 de 1968, que establece normas sobre accidentes y enfermedades profesionales, delegando a organismos administradores el cumplimiento de las mismas. Específicamente en relación con la exposición laboral a sílice esta Ley puntualiza en el artículo 71º que “Las empresas que exploten faenas en que trabajadores suyos puedan estar expuestos al riesgo de neumoconiosis, deberán realizar un control radiográfico semestral de tales trabajadores”, además señala la necesidad de cambiar a una faena libre de exposición a los trabajadores afectados por la enfermedad profesional<sup>58</sup>. A pesar de la existencia de esta ley, no hay evidencia en la literatura que muestre su aplicación.
- Ley Nº 19.628 de 1999. Ministerio Secretaría Gral. de la Presidencia. Protección de la Vida Privada.
- Ley Nº 20.584 de 2012. Ministerio de Salud. Derechos y Deberes de los Pacientes.
- Decreto Supremo Nº 594 de 1999. Ministerio de Salud. Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo. En particular este decreto define los límites permisibles ponderados y temporales para las concentraciones ambientales de las sustancias. En particular para el caso de polvos y sílice, dichos valores se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Límites permisibles ponderados y temporales para las concentraciones ambientales de las sustancias.

Sustancia	Límite permisible ponderado (mg/m <sup>3</sup> )	Observaciones
Polvos no especificados	8,0	Polvo total exento de asbesto y con menos de 1% de sílice cristalizada libre.

Polvos no especificados	2,4	Fracción respirable
Sílice cristalizada cuarzo	0,08	Fracción respirable
Sílice cristalizada cristobalita	0,04	Fracción respirable
Sílice cristalizada tridimita	0,04	Fracción respirable
Yeso (sulfato de calcio)	8,0	Polvo total exento de asbesto y con menos de 1% de sílice cristalizada libre.

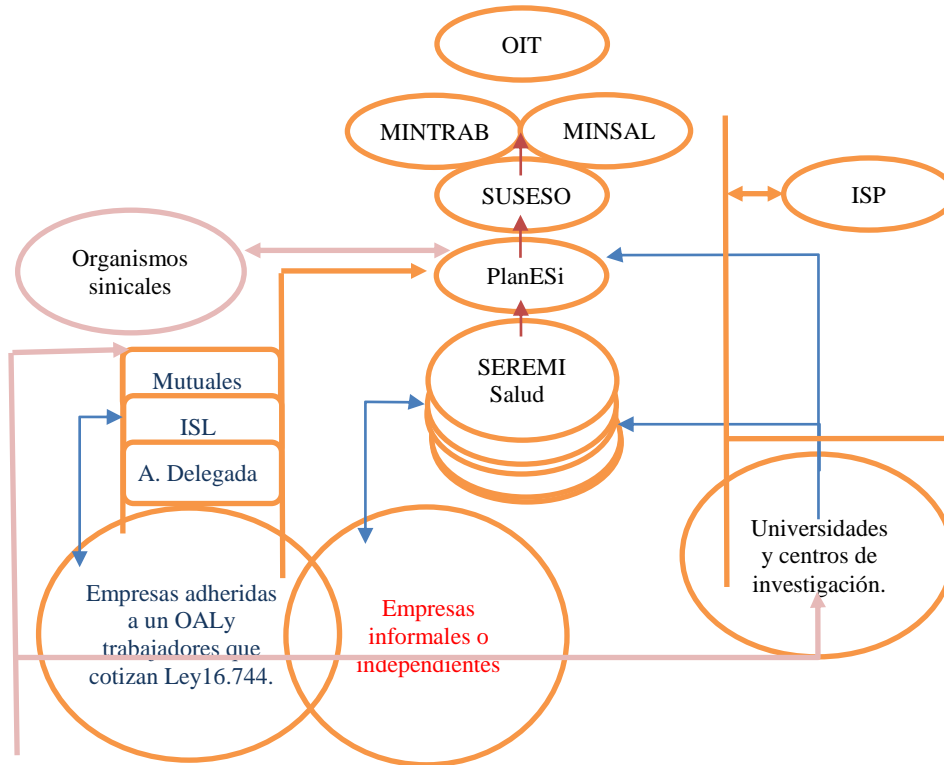
Fuente: Decreto 594, sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo. Límites permisibles para jornadas de 48hrs semanales y hasta 1000 metros sobre el nivel del mar.

- Decreto Supremo N° 101 de 1968. Ministerio del Trabajo y Previsión Social. Reglamento de la Ley N° 16.744.
- Decreto Supremo N° 40 de 1968 del Ministerio del Trabajo y Previsión Social. Prevención de Riesgos.
- Decreto Supremo N° 109 de 1968. Ministerio del Trabajo y Previsión Social. Reglamento para la Evaluación de Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales.
- Decreto Supremo N° 54 de 1969. Ministerio del Trabajo y Previsión Social. Comités Paritarios de Higiene y Seguridad.
- Decreto Supremo N° 3 de 1984. Ministerio de Salud. Autorización de Licencias Médicas.
- Decreto Supremo N° 76 de 2007. Ministerio del Trabajo y Previsión Social. Trabajo en régimen de Subcontratación.
- Decreto Supremo N° 72 de 1986 actualizado al año 2004. Ministerio de Minería. Seguridad Minera.
- Decreto Supremo N° 18 de 1982. Ministerio de Salud. Certificación de Calidad de Elementos de Protección Personal contra Riesgos Ocupacionales.

Como se describió anteriormente, el PanESi involucra diversos actores dentro del marco legal. En la vigilancia de la exposición a sílice y la silicosis en el país, el PlanESi se retroalimenta de la información aportada por los OAL's (número de empresas con posible exposición a

sílice, en vigilancia, con distintos grados de exposición, casos incidentes y prevalentes de silicosis, etc). Por otro lado, las distintas Seremias de Salud del país reportan avances en sus planes regionales de erradicación de la silicosis. Las universidades y centros de investigación pueden participar en la generación de conocimiento sobre el tema e insertarse en el mapa de actores. El ISP aporta a la normativa técnica y el control de calidad de las mediciones de exposición. Los organismos sindicales llevan la voz de los trabajadores, respecto de las distintas realidades que los aquejan (Figura 5).

Figura 5. Mapa de actores relevantes en la vigilancia de la exposición ocupacional a sílice y la silicosis



Fuente: Elaboración propia.

## 1.7 Algunos resultados de la vigilancia de la exposición a sílice en Chile.

Durante el año 2007, en la segunda reunión regional auspiciada por OMS/OPS y OIT, el Ministerio de Salud y el Ministerio de Trabajo y Previsión Social firmaron una declaración conjunta ratificando el compromiso del Gobierno de Chile de trabajar para disminuir la incidencia de silicosis para el año 2020 y conseguir su erradicación para el año 2030. Definiendo cinco metas estratégicas, las que se detallan a continuación:

1. Disminuir y controlar la exposición a sílice en los lugares de trabajo.

2. Disminuir la incidencia y prevalencia de silicosis.
3. Mejorar el diagnóstico oportuno y el control de salud de los trabajadores con silicosis, así como el acceso a las prestaciones pecuniarias e implementar un programa de apoyo social.
4. Fortalecer el sistema de información de silicosis y de exposición a sílice y desarrollar un sistema de vigilancia de silicosis.
5. Implementar, desarrollar y evaluar el plan a través de mecanismos tripartitos que fortalezcan la participación de los trabajadores y el trabajo intersectorial.

En el año 2009 se efectúa el lanzamiento oficial del Plan Nacional de Erradicación de la Silicosis (PlanESi)<sup>1</sup>. El Plan fue elaborado por el Ministerio de Salud y el Ministerio de Trabajo y Previsión Social y consensado por las autoridades sanitarias regionales, los Organismos Administradores del Seguro Social contra Riesgos de Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales Ley 16.744 (OAL), y las empresas y trabajadores a través organismos sindicales<sup>ix</sup>. Además del Plan Nacional de Erradicación, cada región del país formó sus mesas de trabajo, para crear un Plan Regional de Erradicación de la silicosis adecuado a la realidad regional.

En relación a los avances en torno al conocimiento y control de la exposición a sílice en el país se destaca:

Entre los años 2004-2005 el Departamento de Salud Ocupacional del Instituto de Salud Pública de Chile efectuó un estudio exploratorio nacional sobre los niveles de sílice a que están expuestos los trabajadores de distintos rubros, a través de la recolección de 364 muestras de aire de 31 rubros diferentes en 132 empresas<sup>15</sup>. Los resultados mostraron que el 35% de los rubros evaluados sobrepasó el Límite Ponderado Permisible (LPP) de sílice definido en DS. 594, el 33%

---

<sup>ix</sup> Participan del PlanESi: Ministerios de Salud, del Trabajo y Previsión Social; la Superintendencia de Seguridad Social, el Instituto de Salud Pública de Chile, el Servicio Nacional de Geología y Minería, Instituto de Salud Laboral, Asociación Chilena de Seguridad, Mutual de Seguridad, Instituto de Seguridad del Trabajo, CODELCO, Universidades, representantes de las empresas y los trabajadores y los gobiernos regionales a través de sus Secretarías Ministeriales de Salud.

de las muestras recolectadas superaba este límite y el 60% de ellas mostraba valores iguales o superiores a la mitad del LPP. A partir de estos resultados, se realizó una estimación del porcentaje de trabajadores con alta probabilidad de exposición a sílice (aquel que permanece más del 30% de la jornada laboral semanal en presencia de sílice), determinándose que esta cifra asciende a un 5,4% de la Fuerza de Trabajo Ocupada. Debido a lo anterior, se asume que los trabajadores expuestos son muchos más que los que se encuentran en programas de vigilancia de los organismos administradores de la Ley 16.774, por lo que se determinó que éste es un problema prioritario para la Salud Ocupacional en Chile<sup>1</sup>. Si bien el estudio cubre todas las regiones del país, la representatividad por rubro puede ser baja, en el rubro de marmolería solo se incluyeron cuatro empresas, en vidrierías tres, en talleres de artesanos en piedra 12 y laboratorios dentales 15. En una encuesta aplicada a 95 de las 132 empresas evaluadas, el 72% estaba afiliada a un OAL, la mayoría de ellas en el tramo 10 a 100 trabajadores. No se declara si incluyeron empresas informales. Por lo cual se estima que no quedan representadas las micro y pequeñas empresa, más aun las empresas de carácter informal.

En el marco de este estudio nacional, en la Región de La Araucanía, se incluyeron 11 empresas en 9 rubros. Las muestras de aire y de material fueron 10 y 25 respectivamente. El 12% de las muestras de aire superó el límite permisible, en tanto el 40% de ellas mostraba una concentración mayor o igual al 50% del límite<sup>15</sup>. Aunque esta submuestra regional aporta valiosos indicios respecto de la exposición a sílice, no fue diseñada para representar la realidad regional. Si bien la Secretaría Ministerial de Salud de esta región ha implementado su plan para la erradicación de la silicosis<sup>59</sup> con la información disponible, es necesario realizar estudios que permitan generar líneas bases para monitorear el avance del mismo y establecer prioridades.

Otro elemento importante es la identificación de los factores asociados con la sobreexposición, para así poder diseñar programas de mayor efectividad en la prevención de la silicosis. Lamentablemente en el estudio nacional, no se reporta alguna correlación entre la presencia de factores de protección dentro de las empresas, como por ejemplo, estar adherido a un OAL, la presencia de reglamento interno o comité paritario o en las empresas de mayor tamaño un departamento de



prevención de riesgo, el disponer de un programa de vigilancia ambiental o de elementos de protección respiratoria; y los niveles de exposición.

Otros avances del Plan Nacional, destacan – la validación de métodos de medición de exposición a sílice, – el desarrollo, con el apoyo de NIOSH, del método ECRES aunque con la limitación que cubre solo 4 rubros (Fábrica de Baldosas, Fábrica de Cerámicas, Planta de Áridos / Estabilizados y Laboratorios Dentales); y – la creación de las “Directrices Específicas sobre Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo para Empresas con Riesgo de Exposición a Sílice” (SGSST-Sílice 2013)<sup>56</sup> que pretende ser un “[...] instrumento a disposición de las empresas, particularmente de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas, en su tarea de proteger la salud de sus trabajadores de los efectos de la exposición a sílice mediante medidas de prevención y protección”. Adicionalmente, se han hecho esfuerzos por la estandarización del sistema de reporte y registros de datos de parte de los OAL al PlanESi<sup>60</sup>.

Los últimos datos reportados en la videoconferencia nacional del PlanESi, muestran un avance general en la vigilancia de la exposición y la pesquisa de casos de silicosis. Sin considerar a CODELCO y sus empresas, el número de empresas/centros de trabajo con posible exposición sílice se mantiene desde año 2012 al 2013 en torno a 10.200. De estas empresas el porcentaje con evaluación ambiental subió de 25,5% a 41,0%. En las actividades económicas distintas a la Explotación de Minas y Canteras, el porcentaje de empresas con evaluación ambiental subió de 22,8% a 37,9%. En las empresas de explotación de minas y canteras el porcentaje se mantuvo en torno al 3,0%. El número de trabajadores en riesgo de exposición disminuyó de 55.002 a 34.057 entre dichos años, 47,1% y 56,0% de los trabajadores presentó niveles de exposición superiores al LPP. Otro resultado relevante, apunta a la identificación de casos de silicosis entre los trabajadores, el número de casos incidentes y prevalentes de silicosis en dichos años, fue alrededor de 150 y 1.000 respectivamente<sup>x</sup>.

---

<sup>x</sup> Análisis propio de los datos publicados en la Video conferencia PlanESi 2014.  
<http://www.planerradicacionsilicosis.net/documentos/videoconferencias>

Se debe señalar que estos resultados hacen referencia a empresas de carácter formal y adheridas a un OAL, por lo que la realidad de exposición en todas las empresas del país incluyendo trabajadores independientes y empresas informales, sigue siendo desconocida.

Se realizó una búsqueda sensible de artículos o reportes internacionales sobre programas de vigilancia de exposición a sílice en MYPEs<sup>xi</sup>. Los artículos y reportes hallados no dan cuenta de programas especiales de vigilancia, solo normativas e investigaciones específicas en relación a la vigilancia de la silicosis, muchas de ellas incluidas en este estudio.

## **1.8 Micro y pequeñas empresas y la situación de informalidad**

En nuestro país se utilizan principalmente dos definiciones operacionales del concepto de micro y pequeñas empresas, según límites de ocupación y según ventas/activos. Este estudio considerará como definición de MYPE el límite de ocupación, que clasifica las Micro y Pequeñas Empresas como aquellas que tienen menos de 10 y de 10 a 49 personas ocupadas respectivamente<sup>61</sup>.

En un estudio patrocinado por la OIT y EuropeAid el año 2009, se encontró que las Micro y Pequeñas Empresas concentran más del 86,5% de la ocupación del sector privado y el 65,9% del empleo total de los países en América Latina y alcanza casi el 70% en nuestro país. Las MYPES han sido la fuente principal de nuevos puestos de trabajo en los últimos decenios, sin embargo, con frecuencia, la productividad es baja, el empleo es de mala calidad, con situaciones de mayor precariedad en la medida que las empresas son más pequeñas (solo el 34% de los ocupados tienen algún nivel de protección en materia de salud o pensiones en las microempresas de menos de 5 trabajadores)<sup>62,63</sup>.

---

<sup>xi</sup> Los términos de búsqueda fueron: Silica SMEs, Dust SMEs, Sílice MYPE, Polvo MYPE (también se usaron las dos primeras palabra de las siglas), surveillance y vigilancia. Los motores de búsqueda fueron PubMed y Google Académico.

En nuestro país, según la encuesta CASEN 2011, el número total de MYPES formales e informales<sup>xii</sup> era de 1.517.874, 46,7% de carácter informal, el 55% de los empresarios entrevistados emplea a todos o parte de sus trabajadores sin mediar un contrato de trabajo. En la mayoría de estos casos se trató de familiares, de trabajo estacional o a tiempo parcial<sup>64</sup>.

Más recientemente, el Ministerio de Economía, Fomento y Turismo a través de su División de Estudio, ha implementado en los años 2008, 2011 y 2013 una encuesta nacional sobre emprendimientos<sup>xiii</sup>. El objetivo de dichas encuestas, es caracterizar los emprendimientos, sus dueños y trabajadores. Las versión 2011 y 2013 permitió además estudiar la evolución de los emprendimientos al incluir en la muestra, empresas encuestadas los años anteriores. En un análisis propio del autor de esta investigación de la base de datos de la encuesta 2013, se encontró que en el país, existen alrededor de 1.753.505 [1.699.572 - 1.807.437; IC95%] emprendimientos de trabajadores por cuenta propia o empleadores; de estos, el 48,4% [46,4% - 50,5%; IC95%] son informales, por lo cual también están fuera del sistema de protección laboral (resultados muy cercanos a los de la encuesta CASEN 2011). Del total de emprendimientos, el 69,3% no contrata trabajadores. Entre los emprendimientos que dan empleo, el 44,6% contrata un solo trabajador, 43,7% contrata 2 a 9 trabajadores, 10,4% contrata 10-49 trabajadores y el 1,4% contrata 50 o más trabajadores. El 41,2% son empresas informales y no contratan trabajadores, porcentaje mucho menor (28,1%) si son empresas formales (

---

<sup>xii</sup> También se podrían encontrar en este grupo, profesionales que tributen en segunda categoría al haberse declarado como trabajadores por cuenta propia, debido a que el SII considera como empresa aquellas actividades económicas que tributen en primera categoría.

<sup>xiii</sup> <http://www.economia.gob.cl/estudios-y-encuestas/encuestas/encuestas-de-emprendimiento-y-empresas/tercera-encuesta-sobre-microemprendimiento/>

Tabla 5). El 26,7% de las empresas formales contratan uno o más familiares no remunerados, en las empresas informales dicho porcentaje alcanza el 60%.

El 28,0% de los emprendimientos funciona en el domicilio del dueño, ya sea en la casa habitación o en un taller anexo a la vivienda, no habiendo diferencias importantes según la condición de formalidad. Esta situación puede implicar extender a la familia la exposición a factores de riesgos laborales.

Tabla 5. Número de empresas según número de trabajadores contratados y condición de formalidad. Estimación puntual e intervalo de confianza a 95% para los porcentajes respecto del total de emprendimientos.

N° Trabajadores contratados	Formal		Informal		Total	
No contrata a nadie	492.285 28,1 [26,2 - 30,0]		723.294 41,2 [39,3 - 43,2]		1.215.579 69,3 [67,3 - 71,2]	
1	411.364 23,5 [21,7 - 25,4]	145.977 27,2 [24,1 - 30,5]	125.803 7,2 [6,1 - 8,4]	93.360 17,4 [14,5 - 20,7]	537.167 30,6 [28,7 - 32,6]	239.337 44,6 [40,7 - 48,4]
2-9		202.230 37,6 [33,9 - 41,5]		32.406 6,0 [4,7 - 7,8]		234.636 43,7 [39,9 - 47,6]
10-49		55.711 10,4 [7,8 - 13,7]		38 0,0 [0,0 - 0,0]		55.748 10,4 [7,8 - 13,7]
50+		7.446 1,4 [0,8 - 2,5]		0 0,0 [0,0 - 0,0]		7.446 1,4 [0,8 - 2,5]
Total		903.649 76,6 [73,1 - 79,7]		849.098 23,4 [20,3 - 26,9]		1.752.746 100

Obs. Se estima que hay 759 casos que no aportan respuesta respecto del número de trabajadores de sus empresas.

En una búsqueda sensible y tal vez poco específica de rubros y actividades consideradas silicógenicas del listado correspondiente en la encuesta, se estima que habrían alrededor de 59.705 [50.505 – 68.905; IC95%] emprendimientos cuyos procesos productivos son afines a la exposición a sílice, como son la construcción, artesanía en piedra, venta de vidrios, laboratorios dentales, explotación de minas y canteras, marmolerías, entre otras; todos ellos corresponden a MYPEs. Del total de empresas silicogénicas, el 59,7% [48,6 - 70,0; IC95%] son informales. Así se estima que el número de trabajadores con posible exposición a sílice en el país es 117.812, 10,2% de ellos se desempeña en una empresa informal y fuera del sistema de protección laboral.

El riesgo de exposición a sílice en la MYPEs es desconocido, más aun si se trata de MYPEs informales, es decir, que no tienen iniciación de actividades en el Servicio de Impuestos Internos; sin la asistencia de un OAL, o fuera de la vigilancia de la autoridad sanitaria regional. Un informe de 2013 del equipo directivo del PlanESi postula que, en las

empresas con menos de 200 trabajadores, la realidad de exposición es heterogénea, con menores recursos y conocimiento por parte de los trabajadores por lo que “[...] pueden ser más vulnerables a las consecuencias de la exposición a sílice”<sup>56</sup>.

Esta situación debe ser una señal de alarma y representar un importante desafío para el Plan Nacional de Erradicación de la Silicosis, en el diseño e implementación de estrategias de prevención dirigidas a esta población que actualmente se encuentra fuera de cualquier iniciativa de evaluación de la exposición y prevención de riesgos.

## **1.9 De la región de La Araucanía<sup>xiv</sup>**

La Región de La Araucanía, se ubica sur de la ciudad de Santiago entre los paralelos 37°35' y 39°37' de latitud sur. Su capital regional es la ciudad de Temuco y región está compuesta dos provincias y 32 comunas.

El clima de la región observa una transición entre los climas de tipo mediterráneo con degradación húmeda y los climas templado-lluviosos con influencia oceánica. Se distinguen: templado cálido con estación seca corta, templado cálido lluvioso con influencia mediterránea, templado frío-lluvioso con influencia mediterránea y de hielo de altura.

En la región para 2013, se estima una población de 994.380 habitantes (5,7% del país y 5ta región más poblada) y con una densidad de 31,2 habitantes por kilómetro cuadrado (6° lugar entre las regiones). La población rural ubica a la región en el segundo lugar de mayor ruralidad entre las regiones del país (32% de ruralidad).

La tasa media estimada de crecimiento anual poblacional para el período 2012-2013, es de 0,8 personas por cada 100 habitantes, solo la mitad del crecimiento poblacional promedio del país.

---

<sup>xiv</sup> Compendio INE 2013.

[http://www.ine.cl/canales/menu/publicaciones/calendario\\_de\\_publicaciones/pdf/COMPENDIO\\_2013.pdf](http://www.ine.cl/canales/menu/publicaciones/calendario_de_publicaciones/pdf/COMPENDIO_2013.pdf)

El aporte de la región al PIB nacional en el año 2014 fue 2,1% (11<sup>o</sup> lugar entre las regiones del país) y la evolución del Producto Interno Bruto Regional alcanzó un incremento de 6,9% en comparación con 2013 (7<sup>ma</sup> región de mayor crecimiento).

Según la Encuesta Nacional de Micro-emprendimiento 2013, el número de MYPEs en la región se estima en 150.774, donde 71,4% serían informales. El 65,5% de las MYPEs en la región no contrata trabajadores y unas 5.100 empresas tendrían procesos productivos afines con la exposición a sílice, de éstas el 56% serían informales<sup>xv</sup>. Se estima que en la región habría 2.341 trabajadores de MYPEs con procesos productivos afines a la exposición a sílice<sup>xvi</sup>.

## 1.10 Determinantes sociales

La forma en que el empleo y las condiciones laborales afectan la salud de los trabajadores es un área central de la agenda de investigación en los determinantes sociales de la salud (DSS)<sup>65</sup>.

Identificar los determinantes sociales estructurales e intermedios, asociados a inequidades en salud y, en particular a eventos relevantes como son los riesgos laborales, contribuye a generar políticas y acciones específicas en apoyo a las empresas en la disminución de la vulnerabilidad diferencial de la exposición.

Los determinantes sociales estructurales apuntan al contexto socio económico político asociados a la menor calidad del empleo y trabajo, y así a la mayor vulnerabilidad de los trabajadores ante los riesgos laborales. Como se describió anteriormente, estas condiciones están estrechamente asociadas a la PYME o a la informalidad de los emprendimiento. En nuestro país esta situación es reconocida por el Estado, y hay esfuerzos por estimar su importancia relativa y las causas las generan. Prueba de esto, es la encuesta nacional sobre emprendimientos, ya en su tercera versión, que monitorea más de seis

---

<sup>xv</sup> Análisis propio de la base de datos de la Tercera Encuesta de Microemprendimiento. Sitio web del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo

<sup>xvi</sup> No se reportan intervalos de confianza, debido que la encuesta solo tiene representatividad nacional.

mil empresas en todo el país, la mitad de ellas informales y casi todas (99,7%) MYPEs<sup>xvii</sup>. Otra acción tomada por el Estado chileno es la creación, en el año 2010, de la ley 20.416 del Ministerio de Economía, que fija normas especiales para las empresas de menor tamaño, tendientes a facilitar su desenvolvimiento, mediante la adecuación y creación de normas regulatorias que rijan su iniciación, funcionamiento y término, en atención a su tamaño y grado de desarrollo<sup>66</sup>. Ley N°20.494 para el otorgamiento inmediato de patentes municipales definitivas para contribuyentes que poseen todos los permisos correspondientes, y provisorias en los demás casos; para aquellos emprendedores que hagan inicio de actividades, podrán emitir facturas electrónicas y Facturas de Inicio en forma inmediata y, por último, se sustituyó la publicación en papel en el Diario Oficial, por una publicación en la página web de dicho Diario (gratuita para las empresa pequeñas). A ello se agrega la Ley 20.659 del año 2013, para la constitución de empresas en 1 día.

Un importante punto, es que estar en el sistema formal, no elimina necesariamente la desprotección y vulnerabilidad de los trabajadores ante condiciones inapropiadas de trabajo. Si bien no hay registro o referencias sobre los problemas de cobertura de los OAL y de implementación de acciones proactivas (no solo reactivas) de la autoridad sanitaria; se reconoce la existencia del seguro laboral, sobre todo en el sector PYME y en el organismo administrador público.

Los determinantes estructurales operan a través de determinantes sociales intermedios cuyas principales categorías son: las circunstancias materiales; circunstancias psicosociales; factores de comportamiento o biológicos, que a su vez están vinculados, por un conjunto de influencias a nivel individual, incluyendo comportamientos, factores relacionados con la salud y fisiológicos<sup>67</sup>.

Un tema interesante de abordar, pero que escapa del alcance de este trabajo, es el estudio de la asociación entre variables relacionadas con la historia laboral, acceso a salud y resultados en salud en la población de trabajadores expuestos a diferentes concentraciones de sílice. Con este tipo de estudio haría posible desarrollar en forma más

---

<sup>xvii</sup> Análisis propio de la encuesta referenciada anteriormente.



precisa el enfoque de determinantes sociales de salud en la población de PYMEs. Sin embargo, el esfuerzo para conseguir datos de calidad, podría poner en riesgo la factibilidad del estudio.

*Fuente de variables enfoque de determinantes sociales en salud ocupacional.*

No se ha hallado literatura específica con información teórica para estudios de determinantes sociales asociados inequidades en el riesgo de exposición laboral. La literatura más próxima es la que presenta Joan Benach y Carles Muntaner en 2011, que estudian el empleo y las condiciones de trabajo como determinantes de salud<sup>65</sup>. Esta situación conlleva a adaptar los conceptos generales del enfoque de determinantes sociales de salud al tema de estudio de este trabajo.

Las condiciones de empleo están determinadas en un contrato o acuerdo entre el empleador y los empleados, estas incluyen el salario y las condiciones de trabajo, enmarcadas en un sistema de protección social cuya cobertura no es total<sup>68</sup>. Las condiciones de trabajo se relacionan con las tareas que realizan los trabajadores: ambiente físico-químico, condiciones ergonómicas, factores psicosociales, la tecnología que se utiliza, además de las relaciones de poder e influencias presentes en el ambiente laboral.

El empleador tradicional, tiene como principal objetivo generar riqueza y poder, se preocupa de maximizar sus ganancias considerando el entorno económico/político y tecnológico, y en lo posible influyendo marcos regulatorios. Estos actores suelen desestimar o evaluar en forma incompleta los riesgos laborales. Por otro lado, el empleado pretende asegurar su fuente de trabajo, recibir adecuada remuneración y ser compensado por los riesgos inherentes de su tipo y lugar de trabajo. Su percepción de riesgo puede ser atenuada mediante alicientes económicos o producto de la desestabilización de oportunidades laborales<sup>68</sup>.

De esta forma un estudio en salud ocupacional que incluya un análisis de determinantes sociales sobre la inequidad en la exposición a factores de riesgo laborales, debe considerar indagar en razones estructurales que den pie la existencia de la cantidad de informalidad de

las empresas, a la recepción o no apoyo a la gestión de parte de algún organismo del estado o a la vigilancia/supervisión por parte de la autoridad sanitaria. También se debiera indagar en la relación empleador - empleado que se refleja en el contrato o acuerdo laboral y en las condiciones de trabajo sobre las características o aspectos de los puestos de trabajo que generen una vulnerabilidad diferencial a la exposición a riesgos laborales.

### **III. Objetivos e hipótesis**

**Hipótesis:** Los trabajadores pertenecientes a MYPES formales e informales, relacionadas con vidrierías, marmolerías, artesanía en piedra y laboratorios dentales de la región de La Araucanía se encuentran sobre expuestos a niveles de polvo respirable y a sílice cristalina.

**Objetivo general:** Estimar el nivel de exposición a polvo respirable y sílice cristalina, en trabajadores pertenecientes a MYPES formales e informales, relacionadas con vidrierías, marmolerías, artesanía en piedra y laboratorios dentales de la región de La Araucanía, factores asociados y modelo predictivo, años 2013-2014.

**Objetivos específicos:** En la población de referencia:

1. Estimar el nivel de exposición a polvo respirable.
2. Estimar el nivel de exposición a sílice cristalina.
3. Determinar la fuerza de asociación de los factores sociodemográficos laborales y de condiciones de trabajo con el nivel de exposición a sílice cristalina.
4. Establecer un modelo estadístico de screening que estime por rubro el nivel de exposición personal en función de parámetros observables presentes en los procesos productivos.

## **IV. Desarrollo de la implementación del método**

El diseño del método (metodología) se presenta en el [Anexo 1](#). A continuación se presenta los elementos más importantes de su implementación.

El método usado para alcanzar los objetivos se dividió en dos etapas: Construcción marco muestral y muestreo, medición y recolección de datos.

### **Construcción del Marco Muestral**

La metodología para la construcción del marco muestral se implementó de acuerdo a lo planificado en el diseño de este estudio. Se contó con la asesoría de un antropólogo, Sr. Patricio Hernán Burgos Saavedra, quien coordinó el trabajo de campo de esta etapa.

Se contactó por correo electrónico y vía telefónica a las oficinas municipales correspondientes de todas las comunas de la región de La Araucanía, quienes aportaron encuestadores locales y valiosos datos para la ubicación de las empresas semillas para la aplicación del método "Bola de Nieve". A través de dicho contacto, también se pudo obtener un número aproximado de empresas elegibles que se podrían encontrar en los centros urbanos comunales. Este es un método de muestreo no probabilístico que se ajusta a condiciones de población no conocida, como en este caso, y permitió construir el marco muestral necesario para una posterior selección aleatoria de la muestra.

Se logró contactar a 275 empresas de los rubros de interés, todas ellas ubicadas en los principales centros urbanos de la región. El 94,1% fueron empresas que declararon no pertenecer a un OAL, 3,6% admitió estar en el ISL, 3 empresas en la Cámara Chilena de la Construcción (CCHC) y solo una en la Asociación Chilena de Seguridad (ACHS).

La variable formalidad pretendía ser un indicador objetivo de algún tipo de protección para efecto de la exposición a polvo o sílice respirable. Sin embargo, dado la baja frecuencia de empresas formales

que están adheridas a un OAL y que los adheridos, relataron no haber tenido capacitaciones o visitas de algún representante, la estratificación por formalidad deja de ser relevante. En el caso de los laboratorios dentales, la condición de formalidad se confundió con tener autorización sanitaria de funcionamiento donde solo dos laboratorios la tenían.

La Tabla 6, presenta la distribución de frecuencia de empresas de la población de MYPES halladas, según rubro.

Tabla 6. Distribución de las empresas que componen el marco muestral según rubro

Rubro	Total
Artesanía en piedra	15
Laboratorio dental	82
Marmolería	48
Mueblería/mármol	18
Vidriería	112
Total	275

Los detalles de los resultados de la aplicación de la metodología para la construcción del marco muestral se presenta en el [Anexo 2](#).

## **Muestreo, medición y recolección de datos**

### ***Muestreo y tamaño de muestra***

Como se expresó en diseño de este estudio, el tamaño de muestra fue determinado por afijación de costos. El proceso de muestreo buscó obtener representación estadística de la población de accesible, para la estimación del nivel de exposición a polvo y sílice respirable. Se seleccionó desde el marco muestral, en forma aleatoria y proporcional al tamaño de cada rubro, 70 empresas. La

Tabla 7 presenta la distribución de frecuencia obtenida para dicha muestra y el tamaño de muestra efectivamente alcanzado en el estudio.

Tabla 7. Distribución de la muestra diseñada y la obtenida, según rubro.

Rubro	Total muestra	
	diseño	obtenida
Artesanía en piedra	4	4
Laboratorio dental	21	21
Marmolería	12	2
Mueblería/mármol	5	5
Vidriería	29	26
Total	70	58

En el rubro de artesanos en piedra se obtuvo el tamaño de muestra previsto, teniendo que reemplazar tres de las empresas seleccionadas originalmente. La primera es de la ciudad de Temuco, se dedica a la artesanía en metal y el trabajo en piedra es solo por pedido. La segunda es de la ciudad de Pucón y no correspondió al rubro (vende piedra laja) y el tercer caso, el dueño no se encontraba y fue reemplazado por su hermano, que tiene un taller similar.

Todos los artesanos en piedra corresponden a empresas familiares ubicadas en un sector específico de la región. El contacto más estrecho con estas empresas permitió saber que, hay alrededor de 30 familias que se dedican al oficio de fabricar morteros de cocina de piedra azul (materia prima con alrededor de 12% de sílice), complementando sus actividades diarias con labores de agricultura.

En el rubro de laboratorio dental, se logró conseguir el tamaño de muestra previsto, con una tasa rechazo de 14,3% y de reemplazo de empresa de 47,6%. Los motivos del rechazo a participar en el estudio son: falta de tiempo, desinterés (uno de estos laboratorios cuenta con permiso sanitario y usa "instrumentos de última generación" que eliminan la exposición a polvo y sílice). Los principales motivos de reemplazo de empresas fueron: Cantidad de trabajo insuficiente, laboratorio inubicable, término de giro o no era la principal fuente de ingreso del hogar (trabajo muy esporádico).

Las marmolerías, con excepción de dos de ellas localizadas en la ciudad de Victoria e Imperial, se ubicaban en la comuna de Temuco. Una gran proporción de las empresas definidas, en el marco muestral

como marmolerías, realmente correspondían a empresas que dan el servicio de gestión para la fabricación de placas de mármol, grabado e instalación de placas en las tumbas de los cementerios locales. La fabricación de las placas que implica el corte y pulido de mármol natural se hace en 5 marmolerías de la ciudad de Temuco.

Las marmolerías de mayor tamaño rechazaron participar en el estudio aduciendo desinterés y falta de tiempo. Ante la visita del personal de campo, señalaban que ya habían escuchado del estudio entre sus colegas y que no participarían.

Las dos empresas que participaron del estudio, se caracterizaron por ser de tipo familiar, con un solo operario, usar mármol natural y distribuir sus productos a los distintos negocios de venta de placas, principalmente placas funerarias, ubicados cerca de los cementerios de la región.

En el rubro de mueblerías que trabajan con mármoles, piedras y aglomerados de cuarzo, no hubo problemas en la participación. Solo una de las cinco empresas rechazó participar señalando, como otras marmolerías, que sabía del estudio y no le interesaba. Dicha empresa tiene tres trabajadores y usa como materia prima granito, mármol natural y aglomerados de cuarzo; esta empresa fue reemplazada por otra empresa similar en cuanto al tamaño y la materia prima usada.

En el rubro vidrierías solo fue posible realizar mediciones de exposición a polvo y sílice respirable en dos empresas. La mayor dificultad para realizar dichas mediciones fue que se trataba de empresas con pocos trabajadores y una gran dinámica de trabajo dentro y fuera del taller (trabajo de terreno, instalando puertas y ventanas). En varios casos, cuando la cantidad de trabajo lo ameritaba, se trabajaba en la noche dentro del taller armando ventanas y puertas, para salir al día siguiente a instalarlas. Para solucionar esta complicación, la recomendación de los expertos del Instituto de Salud Pública (ISP) y de la Seremi de Salud, fue medir la concentración de masa de polvo respirable con un dusttrak durante el desarrollo de las actividades dentro del taller y tomar muestras de material sedimentado a la altura de la zona respirable, en repisas y muebles. Se registró solo un rechazo a participar, aduciendo desinterés. Hubo once cambios de empresas por



diversos motivos, entre los principales están: empresa inubicable, solo vende vidrio (ferreterías), no se encontró al dueño por lo que no se obtuvo la autorización, cerrado la primera y segunda visita, o no correspondía al rubro (instalación de parabrisas). Todas estas empresas fueron reemplazadas por empresas equivalentes en el tamaño y ubicación, a excepción de empresas ubicadas en Pucón y Lonquimay que tuvieron que ser reemplazadas por una empresa en Villarrica y otra en Temuco, dada la potencial contaminación cruzada por cenizas del volcán Calbuco. Si bien la cantidad de sílice cristalina en cenizas de la erupción de un volcán a otro es variable<sup>69</sup>, el Calbuco es considerado como uno que emite magma rico en sílice<sup>70</sup> y no teniendo la posibilidad de medir objetivamente el fenómeno, se optó por el reemplazo.

### ***Medición y recolección de datos***

El trabajo de campo se desarrolló con la estrecha colaboración de dos estudiantes de último año de la carrera de Ingeniería en Prevención de Riesgo de la Universidad Santo Tomás, de la ciudad de Temuco, [Sra. Sofía Martínez Catalán y Sr. Mauricio Montecinos Aillapán](#). Estos estudiantes fueron capacitados para el trabajo de campo por el investigador principal. Para la toma de muestra de polvo y sílice, participaron en su capacitación Fernando Urrutia de la Seremi de Salud y un técnico de la ASCH nombrado por Patricio Campos.

De acuerdo al diseño del estudio, la jornada diaria se dividió en cuatro periodos de igual tiempo. Usando los instrumentos de campo, cuestionario e instrumentos de medición (trenes de muestreo, termoanemómetros y dusttak), se registró en cada periodo las condiciones de trabajo. En el caso de las empresas donde se pudo medir la exposición a sílice respirable, se cumplió con el diseño del estudio al evaluar dos días, seleccionando junto al dueño de la empresa, aquellos días con mayor trabajo que teóricamente genera polvo.

En todas las muestras de aire, se siguió las directrices del protocolo para la toma de muestra de sílice libre en su fracción respirable y de polvo no clasificado total y fracción respirable, presente en el manual de normas mínimas para el desarrollo de programas de vigilancia de la silicosis del ISP. Los trenes de muestreo fueron armados

y calibrado en una oficina de la Universidad de La Frontera habilitada especialmente. En todas las calibraciones, la diferencia relativa del caudal de muestreo promedio inicial y final, no superó 5%, (promedio 1,5%).

En el diseño del estudio se propuso usar la metodología de Difracción de Rayos X (NIOSH 7500) recientemente implementada en el Instituto de Salud Pública (ISP) para el análisis de las muestras. Sin embargo, ante la posibilidad de hacer los análisis a un tercio del valor del laboratorio del ISP, en un laboratorio norteamericano con sede en Antofagasta ([ALS, Global](#)) con certificación internacional de normalización y con un programa de evaluación externa de calidad ante el Instituto de Salud Pública, se decidió cambiar la técnica de análisis a Espectrofotometría de Absorción Infrarroja (NIOSH 7602), única técnica que actualmente ofrece dicho laboratorio en el país. El laboratorio reportó el resultado de polvo y sílice respirable en  $\mu\text{g}/\text{filtro}$ . Ante muestras con resultados inferiores al límite de cuantificación (ILC)  $<10$  para polvo y  $<5$  para sílice, se usó la recomendación de Hornung and Reed (1990) que sugiere imputar el dato por  $\text{ILC}/2$  cuando los datos son altamente asimétricos.

En relación a las mediciones de polvo y sílice respirable se presentó la dificultad que en una marmolería, dos mueblerías y dos empresas de artesanía en piedra; hubo muestras acolmatadas por exceso de polvo, que tuvieron que ser reconsideradas. En el caso de los artesanos en piedra, se tuvo que medir en una segunda oportunidad, y usar dos y tres casetes de muestreo para medir polvo y sílice respirable. Adicionalmente se tomaron muestras de material sedimentado en zonas a la altura respirable para conocer el porcentaje de sílice en la materia prima usada. El efecto del acolmatamiento, es generar interferencia en el análisis de laboratorio, sub estimando la verdadera concentración de sílice, situación no relevante al observar mediciones de muestras acolmatadas que están por sobre cualquier norma de seguridad.

Se obtuvo un total de 74 muestras de polvo y sílice respirable en un total de 34 empresas. Se usaron 1 a 4 casetes de muestreo por empresa, en el 76,5% se usó uno por jornada diaria. En total, se usaron 4 muestras testigo.

El tiempo de muestreo por filtro varió de 86 a 480 minutos, con un promedio (desviación estándar) de 314,7(85,6) minutos. En el 50% de los casos se muestreó el 70% o más de la jornada laboral. La

Tabla 8 presenta estos datos por rubro.

Tabla 8. Tiempo en minutos de la duración del muestreo para polvo y sílice respirable.

Rubro	Número de mediciones	mín	máx	Promedio (DE)	70% JD*
<b>Artesanía piedra</b>	13	86	480	243(127,4)	23,1
<b>Laboratorio dental</b>	41	180	457	332(60,5)	53,7
<b>Marmolería</b>	3	240	390	333(81,2)	66,7
<b>Mueblería</b>	14	172	424	323(75,9)	57,1
<b>Vidriería</b>	3	206	420	330(111,0)	66,7
<b>Total</b>	74	86	480	315(85,6)	50,0

\*mayor a 70% de la jornada diaria 336 minutos

Se tomaron 27 muestras de material sedimentado a la altura de la zona respirable desde repisas y muebles. El 88,9% corresponde a muestras en vidrierías, dos muestras de los talleres de los artesanos en piedra y una de marmolería.

El trabajo de campo se implementó de acuerdo al diseño del estudio, con una visita a la empresa para aplicar el cuestionario de datos ergonómicos, y luego dos visitas para realizar las mediciones y el registro de actividades, datos ambientales y del trabajador medido. Todos los cuestionarios usados para la recolección de datos se presentan en la lista de hipervínculos del [Anexo 3](#). Instrumentos para la recolección de datos.

El listado de archivos con los resultados de laboratorio, se presentan en el [Anexo 4](#). Listado de informes de laboratorio. En el [Anexo 5](#), se presenta material audiovisual.

### *Variables e indicadores*

- Condiciones de ventilación de los talleres. Estas fueron evaluadas en función del flujo de aire por hora y del renuevo de aire en el taller, según las disposiciones del artículo 32, 33 y 34 del DS594. Para ello se usaron las variables asociadas con el flujo de aire en a lo más dos puertas y dos ventanas, adicionalmente se calcularon los flujos producidos por extractores eléctricos. El detalle de la metodología de cálculos se presenta en el [Anexo 6](#). Condiciones de ventilación de los talleres.

Dado que los artesanos en piedra trabajan al aire libre, las condiciones de ventilación se representaron por las variables: velocidad del viento, temperatura bulbo seco y humedad relativa en el taller.

- Materia prima. Se crearon indicadores por rubro.

En el rubro Laboratorio dental, la materia prima se categorizó según si contiene un porcentaje significativo de sílice (1%). El trabajo con materiales como yeso, cerámica, piedra pómez, porcelana, cromo (por los abrasivos que se usan); e independientemente si se trabajaba en húmedo o seco, fue considerada materia prima con sílice. El uso de acrílicos o ceras de moldear, fue considerado sin sílice. Así se creó el indicador que registra el porcentaje de tiempo de la jornada de medición, donde se usó materia prima con sílice.

Los artesanos en piedra, usaron un tipo de materia prima, piedra azul, con un contenido de sílice promedio de 12%, por lo que esto no fue una variable.

En los marmoleros y mueblistas, la materia prima se caracterizó por el porcentaje de sílice en ella, donde: mármol natural tiene 5%, granito 30%, aglomerados de cuarzo 95%. Así se construyó el indicador porcentaje de sílice en materia prima usada dentro del periodo medido. Así por ejemplo, si dentro de un mismo periodo se usa mármol natural y granito, el porcentaje de sílice asignado a dicho periodo será  $(5+30)/2*100=17,5\%$ , si en lugar de granito usa aglomerado de cuarzo, dicho porcentaje será  $(5+95)/2*100=50\%$ .

- Presencia de sistema ingenieril para la mitigación de la exposición. Los sistemas aquí considerados son: extractor eléctrico de aire y corte en húmedo. El extractor se incluye en la variable de ventilación. En el rubro marmolería y mueblería, considerando el porcentaje de tiempo de uso de la cortadora en húmedo dentro del periodo medido, se crea el indicador de exposición “Porcentaje de tiempo realizando actividades en seco (corte, pulido)”.
- Las variables de respuesta son: Concentración de masa de polvo y sílice cristalina respirable ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) y su transformación logarítmica respectiva. En las empresas donde no hubo mediciones de exposición personal, se usó como variable de respuesta el percentil 50 de la concentración de masa de polvo, registrado en el dusttrak.

### III. Resultados

La muestra final se compuso por 58 empresas de diez comunas de la región. El 82,8% declaró no pertenecer a ningún OAL, 10,3% dice pertenecer al ISL, dos casos a la CCHC y dos casos al IST.

Ilustración 1. Artesano en piedra con su tren de muestreo. En segundo plano, el cabezal de muestreo del dusttrak.



Los cuatro talleres de artesanía en piedra son de empresas familiares de un trabajador con exposición directa, aunque es posible que otros miembros de la familia también lo puedan estar al convivir muy cerca del lugar de trabajo. Son talleres prácticamente al aire libre con a lo más un techo y una pared y sus trabajadores no tienen cobertura del seguro contra accidentes del trabajo y enfermedades profesionales.

Del 12 de enero al 10 de marzo, en condiciones ambientales sin lluvia con una temperatura promedio de 22 °C, humedad relativa de 53% y corrientes de aire variadas promedio(DE) 1,0(1,2)

m/s, se realizaron 8 mediciones de polvo y sílice respirable en 3 talleres. Otras 5 mediciones se hicieron en los días 17 y 21 de abril con una temperatura promedio de 7,2 °C, 56% de humedad y prácticamente sin corrientes de aire. Adicionalmente se tomó una muestra de material sedimentado, para conocer su porcentaje de sílice.

El siguiente [hipervínculo](#) muestra un video de uno de los artesanos en piedra construyendo un mortero de cocina.

Los 21 laboratorios dentales se distribuyen en 8 comunas de la región, tienen 1 a 6 trabajadores, el 52,4% tiene un trabajador, normalmente el dueño. Un laboratorio dice pertenecer a un OAL (ISL). Tienen 1 a 4 trabajadores expuestos, el 61,9% tiene solo un trabajador expuesto. Se realizó en total 41 mediciones personales de polvo y sílice respirable.

Las dos marmolerías del estudio son de la comuna de Temuco. Se logró hacer 3 mediciones de polvo y sílice respirable. Una se ubica dentro de la ciudad con prácticamente nula ventilación (se sellan puertas y ventanas con alfombras para evitar que salga polvo)

Ilustración 3. Puerta de acceso a una marmolería. Se usó pedazos de alfombra para sellar filtraciones de polvo hacia fuera del taller.



(Ilustración 2). La otra se ubica en las afueras de la ciudad, con amplia ventilación pasiva (Ilustración 3). En ambas marmolerías el dueño de la empresa es el trabajador expuesto, aunque se declara contratar a otro trabajador estacionalmente, en una de ellas. En este [hipervínculo](#) se muestra un video del trabajo con el registro del dusttrak.

Ilustración 2. Marmolería con amplia ventilación. Trabajo en mármol Carrara.



Los cinco talleres de mueblerías se ubican dentro del radio urbano de la ciudad de Temuco. Cuentan con 2 a 6 trabajadores, 1 a 5 expuestos, aunque dicho número puede variar dependiendo de la demanda de trabajo. Se realizaron 14 mediciones personales de polvo y sílice respirable (Ilustración 4).

Ilustración 4. Mueblería que trabaja con aglomerados de cuarzo, granito y mármoles naturales.



Las 26 vidrierías se distribuyen en 7 comunas de la región tienen 1 a 22 trabajadores, 46,2% tiene 1 o 2 trabajadores. Dos empresas dicen pertenecer al ISL, dos al IST, 2 a la Mutual y el 76,9% dice no pertenecer a un OAL. El número de trabajadores expuestos es 1 a 4, el 46,2% tiene hasta 2 trabajadores expuestos. En dos de ellas se logró hacer mediciones personales de polvo y sílice respirable. En todas las vidrierías se midió en tiempo real la concentración de polvo respirable dentro del taller durante el desarrollo de actividades laborales (corte y pulido de vidrio, armado de ventanas, corte de PVC y aluminio). Se obtuvo 24 muestras de material sedimentado a la altura de la zona respirable para análisis de porcentaje de sílice. No se registró la actividad de pulido de bordes en las vidrierías evaluadas. En una vidriería, a modo de experimento, se midió por el dusttrak la concentración de masa de polvo respirable por efecto del pulido de un trozo de espejo, el video con el resultado se presenta en el siguiente [hipervínculo](#).

**Objetivo 1 y 2. Estimar el nivel de exposición a polvo y sílice cristalina respirable.**

La Tabla 9 presenta los resultados por rubro, para las 74 evaluaciones personales de exposición realizadas en las 34 empresas. Las estimaciones del nivel promedio geométrico considerando la estratificación por rubro y las empresas como conglomerados, se

presentan en la Tabla 10. Artesanía en piedra y Mueblería son los rubros con niveles de exposición muy por sobre la norma chilena, con promedios geométricos que la superan en más de 3 veces el LPP.

Tabla 9. Concentración de masa ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) de polvo y sílice respirable en 74 muestreos, según rubro. Valores mínimos, máximos, percentiles 25, 50 y 75; media y desviación estándar geométrica.

Rubro	Nº Med	Media(DE) tiempo muestreo (min)	Polvo sílice respirable	Rango, percentiles 25, 50 y 75 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )			Media (DE) Geométrica ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	
				Rango	p25	p50 p75		
Artesanía piedra	13	243(127,4)	Polvo R	0,489 - 38,646	1,364	4,425	20,321	4,735(4,606)
			Sílice R	0,147 - 9,098	0,331	1,180	5,657	1,250(4,489)
Laboratorio dental	41	332(60,5)	Polvo R	0,009 - 2,305	0,037	0,191	0,267	0,116(3,664)
			Sílice R	0,003 - 0,152	0,004	0,005	0,032	0,011(3,062)
Marmolería	3	333(81,2)	Polvo R	1,870 - 20,664	1,870	10,171	20,664	7,325(3,436)
			Sílice R	0,025 - 8,398	0,025	1,760	8,398	0,713(20,522)
Mueblería	14	323(75,9)	Polvo R	0,359 - 19,235	1,079	3,039	6,854	2,677(3,256)
			Sílice R	0,087 - 5,508	0,351	0,918	1,704	0,724(3,190)
Vidriería	3	330(111)	Polvo R	0,008 - 0,143	0,008	0,056	0,143	0,040(4,326)
			Sílice R	0,004 - 0,031	0,004	0,004	0,031	0,008(3,413)



Tabla 10. Estimación<sup>xviii</sup> de la concentración de masa promedio geométrica (mg/m<sup>3</sup>), considerando la estratificación por rubro y a las empresas como conglomerados.

Rubro	N° de mediciones (empresas)	Estimación promedio geométrico		
			Intervalo de Puntual 95%	confianza
Artesanía piedra	13(4)	Polvo	4,735	0,982 – 22,83
		Sílice	1,250	0,259 – 6,043
Laboratorio dental	41(21)	Polvo	0,116	0,070 – 0,191
		Sílice	0,011	0,007 – 0,016
Marmolería	3(2)	Polvo	7,325	*
		Sílice	0,713	
Mueblería	14(5)	Polvo	2,677	0,989 – 7,245
		Sílice	0,724	0,280 – 1,875
Vidriería	3(2)	Polvo	0,040	0,006 – 0,281
		Sílice	0,008	0,001 – 0,067

\* No fue posible realizar la estimación debido a la gran variabilidad en los datos y lo reducido del tamaño de muestra.

**Objetivo 3. Determinar la fuerza de asociación de los factores sociodemográficos laborales y de condiciones de trabajo con el nivel de exposición a sílice cristalina.**

Los resultados son presentados por rubro, utilizando una tabla con el resumen estadístico de las variables explicativas, otra que presenta descriptivamente las asociaciones estudiadas y el resultado de la significancia conjunta de las variables en modelos GEE.

---

<sup>xviii</sup> La estimación de parámetros (puntual y por intervalo de confianza) se hizo con el módulo Survey de Stata 13, considerando las empresas como conglomerados y la estratificación por rubro. No se usó corrección por población finita, considerando representar a una población extra regional.

### ***Artesanía en piedra***

Se consideraron usar como variables explicativas: temperatura ambiental, humedad y velocidad del viento, consumo eléctrico como indicador de intensidad del trabajo.

La Tabla 11 muestra el resumen estadístico para los datos de las variables de interés. La

Tabla 12 y Tabla 13 presenta el promedio de los datos de las variables explicativas según niveles de exposición personal a polvo y sílice respirable. Estos datos descriptivos muestran que la concentración de polvo y sílice se correlaciona con temperatura y humedad ambiental, disminuyendo el nivel de exposición a medida que aumenta la temperatura y disminuye la humedad.

Tabla 11. Resumen estadístico de datos de 13 evaluaciones realizadas en 4 Talleres de Artesanía en piedra.

Variables	Rango	Percentiles			Media(DE)
		p25	p50	p75	
Duración medición (min)	86 – 480	118	281	331	243(127)
Polvo (mg/m <sup>3</sup> )*	0,49 – 38,65	1,36	4,43	20,32	4,74(4,61)
Sílice (mg/m <sup>3</sup> )*	0,15 – 9,10	0,33	1,18	5,66	1,25(4,49)
Velocidad viento (m/s)	0,00 – 0,75	0,10	0,30	0,5	0,29(0,24)
Temperatura (°C)	14,30 – 32,20	15,70	23,30	27,00	21,90(6,23)
Humedad (%)	36,39 – 60,66	46,21	50,72	52,71	40,90(7,43)
Consumo elect. total (KW/hr)	0,00 – 3,80	0,30	1,80	2,00	1,39(1,11)

\*La media y DE de polvo y sílice respirable corresponden a su forma geométrica.

Tabla 12. Promedio y desviación estándar datos variables explicativas, según nivel de exposición personal a polvo respirable, en 4 talleres de artesanía en piedra y un total de 13 evaluaciones.

Polvo (mg/m <sup>3</sup> )	Nº med	Sílice (mg/m <sup>3</sup> )*	Velocidad viento (m/s)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Consumo elect. total (KW/hr)
0,3-1,0	3	0,2(1,3)	0,3(0,2)	26,4(3,5)	46,5(8,9)	1,3(2,2)
1,0-2,4	2	0,4(1,1)	0,4(0,1)	25,6(2,8)	48,3(3,5)	1,2(0,1)
>=2,4	8	3,4(2,5)	0,2(0,3)	19,3(6,4)	51,6(7,8)	1,5(0,8)
Total	13	1,3(4,5)	0,3(0,2)	21,9(6,2)	49,9(7,4)	1,4(1,1)

\*La media y DE de sílice respirable corresponde a su forma geométrica.

Tabla 13. Promedio y desviación estándar datos variables explicativas, según nivel de exposición personal a sílice respirable, en 4 talleres de artesanía en piedra y un total de 13 evaluaciones.

Sílice (mg/m <sup>3</sup> )	Nº Med	Polvo (mg/m <sup>3</sup> )*	Velocidad viento m/s)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Consumo elect. total (KW/hr)
0,08-0,45	5	1,0(1,6)	0,4(0,1)	26,1(2,9)	47,2(6,6)	1,2(1,6)
0,45-2,0	2	3,8(1,2)	0,6(0,2)	24,9(3,0)	48,3(3,0)	1,2(1,3)
>=2,0	6	19,3(2,0)	0,1(0,2)	17,4(6,3)	52,6(8,9)	1,6(0,8)
Total	13	4,7(4,6)	0,3(0,2)	21,9(6,2)	49,9(7,4)	1,4(1,1)

\*La media y DE de polvo respirable corresponde a su forma geométrica.

A la luz de la estadística inferencial<sup>xix</sup> y considerando el efecto conjunto de las variables explicativas sobre el nivel exposición personal a polvo y sílice respirable, sólo las variables temperatura y humedad relativa explican significativamente la variabilidad de los niveles de exposición a polvo y sílice (valor  $p < 0,001$ , Test Wald).

<sup>xix</sup> El modelo estadístico usado para estudiar la asociación de entre las variables explicativas y la de respuesta fue el modelo GEE (Generalized Estimating Equations) al considerar la estructura de conglomerado que genera las medidas repetidas en las empresas.

### ***Laboratorio dental***

Se usaron como variables explicativas: Porcentaje de tiempo de uso de materia prima con sílice, Total de trabajadores, Consumo eléctrico, Flujo total hora y Recambio de aire hora.

En dos laboratorios se presentaron niveles de polvo o sílice elevados.

En el primero laboratorio el trabajador medido presentó un nivel de exposición personal a sílice de  $0,15 \text{ mg/m}^3$ , casi el doble del límite ponderado permisible (LPP) para nuestro país ( $0,08 \text{ mg/m}^3$ ). Este laboratorio se ubica en la ciudad de Temuco, no pertenece a un OAL, tiene 2 trabajadores expuestos, el taller tenía nula presencia de flujo y renovación de aire), presentó un bajo nivel de exposición a polvo respirable ( $0,59 \text{ mg/m}^3$ ), utiliza un equipo arenador en seco con cuarzo como abrasivo y en el momento de la medición, dicho equipo presentaba una fuga evidente al observar polvo de cuarzo fuera de éste.

El segundo laboratorio dental está ubicado en la comuna de Padre Las Casas, el trabajador medido presentó niveles de exposición a polvo respirable de  $2,31 \text{ mg/m}^3$  y a sílice respirable de  $0,079 \text{ mg/m}^3$ . Se caracterizó por tener un trabajo intenso de pulido con piedra pómez durante casi todo el periodo de evaluación y con nula ventilación del taller. Este mismo laboratorio el primer día de medición, presentó una ventilación caracterizada por un promedio respectivo de flujo y renovación de aire de  $17,3 \text{ m}^3/\text{h}$  y  $0,64$  veces hora. Se realizaron actividades de preparación de yeso (3'), ordenamiento de piezas (60'), desgaste de prótesis con micromotor (90'); registrándose un nivel de exposición a polvo y sílice de  $0,55$  y  $0,057 \text{ mg/m}^3$  respectivamente.

En todos los otros laboratorios dentales se presentaron niveles de exposición a sílice y polvo respirable muy por debajo del LPP.

La Tabla 14 resume los datos de las variables de interés. Resalta el amplio rango de valores para flujo y renovación de aire, que puede ser explicado por las condiciones ambientales, con puertas y ventanas abiertas. Más del 50% de las evaluaciones ambientales dentro de los talleres muestran condiciones de ventilación prácticamente nulas.

Tabla 14. Resumen estadístico de datos de 41 evaluaciones realizadas en 21 empresas.

Variables	Rango	Percentiles			Media(DE)
		p25	p50	p75	
Duración medición (min)	180 – 457	303,0	338,0	363,0	331,9(60,5)
Polvo (mg/m <sup>3</sup> )*	0,0087 – 2,305	0,037 2	0,191	0,267	0,116(3,66)
Sílice (mg/m <sup>3</sup> )*	0,0033 – 0,152	0,004 3	0,005 3	0,031 8	0,011(3,063 )
% de tiempo de uso materia prima con sílice (%TMatS)**	0,00 – 100	16,7	33,3	50,0	41,9(34,6)
Total de trabajadores	1 – 6	1	1	2	2,2(1,7)
Consumo eléctrico (total KW/h)	0,1 – 12	0,7	2,1	3,7	3,1(3,2)
Flujo total hora (m <sup>3</sup> /h)	0,0 – 4515	0,0	457	1304	839(1093)
Nº de recambio aire hora	0,0 – 143	0,0	11,5	30,4	23,8(33,5)

\* La media y DE de polvo y sílice respirable corresponden a su forma geométrica.

\*\* Porcentaje de tiempo de uso materia prima con sílice

La Tabla 15 y Tabla 16 correlacionan descriptivamente el promedio de las variables de interés según niveles de exposición a polvo y a sílice respirable. Ante la ausencia de flujo y renovación de aire, se presentaron las más altas concentraciones de polvo y sílice respirable. Sin embargo, dicha correlación no fue estadísticamente significativa (valor  $p > 0,80$ , Test Wald).

Tabla 15. Promedio y desviación estándar datos variables explicativas, según nivel de exposición personal a polvo respirable, en 21 empresas y un total de 41 evaluaciones.

Polvo (mg/m <sup>3</sup> )	Nº Med	Sílice (mg/m <sup>3</sup> )*	%TMatS*	Nº Trab.	Consumo eléctrico (kW/h)	Flujo total hora (m <sup>3</sup> /h)	Nº de renuevo aire hora
<0,08	15	0,005(1,25)	47,2(41,9)	2,8(2,2)	3,6 (3,1)	616(779)	20,8(36,0)
0,08-0,3	18	0,010(2,6)	40,7(29,7)	1,9(1,4)	2,7(3,4)	853(924)	27,0(32,5)
0,3-1,0	7	0,052(1,7)	35,7(34,9)	1,9(1,1)	2,8(3,4)	1.400(1.874)	25,6(36,3)
1,0-2,4	1	0,079(1,0)	25,0(0,0)	2,0(0,0)	2,6(0,0)	0,0(0,0)	0,0(0,0)
Total	41	0,011(3,1)	41,9(34,6)	2,2(1,7)	3,1(3,2)	839(1.093)	23,8(33,5)

\* La media y DE de polvo y sílice respirable corresponden a su forma geométrica.

\*\* Porcentaje de tiempo de uso materia prima con sílice.

Tabla 16. Promedio y desviación estándar datos variables explicativas, según nivel de exposición personal a sílice respirable, en 21 empresas y un total de 41 evaluaciones.

Sílice (mg/m <sup>3</sup> )	Nº Med	Polvo (mg/m <sup>3</sup> )*	%TMatS*	Nº Trab.	Consumo eléctrico (kW/h)	Flujo total hora (m <sup>3</sup> /h)	Nº de renuevo aire hora
<0,004	4	0,066(3,289)	50,0(35,4)	2,5(2,4)	3,3(3,1)	713(798)	22,7(29,6)
0,004-0,08	36	0,118(3,675)	39,4(33,9)	2,2(1,7)	3,1(3,3)	876(1.134)	24,6(34,5)
0,08-0,45	1	0,591(1,000)	100,0(0,0)	2,0(0,0)	0,7(0,0)	0(0)	0,0(0,0)
Total	41	0,116(3,664)	41,9(34,6)	2,2(1,7)	3,1(3,2)	839(1.093)	23,8(33,5)

\* La media y DE de polvo y sílice respirable corresponden a su forma geométrica.

\*\* Porcentaje de tiempo de uso materia prima con sílice.

### ***Marmolerías y Mueblerías***

Como variables explicativas del nivel de exposición personal a polvo sílice, se usan el Total de trabajadores, Total consumo eléctrico, Media porcentaje de sílice materia prima, Promedio porcentaje de tiempo trabajo en seco, Flujo total hora y Recambio hora de aire en el taller.

La distribución de frecuencia del nivel de exposición personal a polvo y sílice respirable en las 17 mediciones realizadas en las 7 empresas se muestra en el

<b>N° veces sobre 2,4 mg/m<sup>3</sup></b>	<b>Rango de valores (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>%</b>
0	<2,4	8	47,1
1	2,4 - 4,8	1	5,9
2	4,8 - 7,2	3	17,6
3	7,2 - 9,6	2	11,8
4	9,6 - 12,0	1	5,9
7	16,8 - 19,2	1	5,9
8	19,2 y +	1	5,9

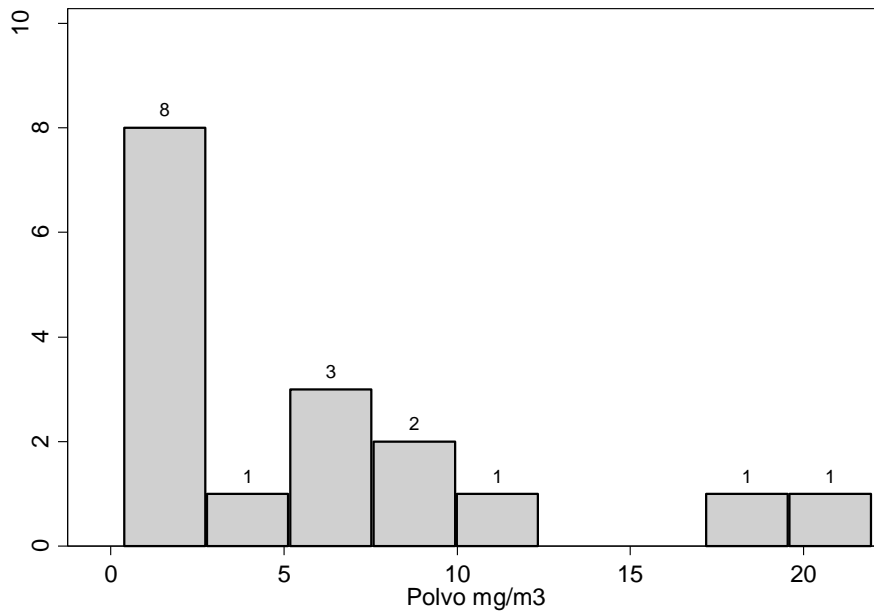


Gráfico 1 y Tabla 17, Tabla 18 y la Tabla 19 resume los datos de las variables de interés.

Tabla 17. Distribución de frecuencia del nivel de exposición personal a polvo respirable en 17 mediciones para 7 empresas

Nº veces sobre 2,4 mg/m <sup>3</sup>	Rango de valores (mg/m <sup>3</sup> )	Frecuencia	%
0	<2,4	8	47,1
1	2,4 - 4,8	1	5,9
2	4,8 - 7,2	3	17,6
3	7,2 - 9,6	2	11,8
4	9,6 - 12,0	1	5,9
7	16,8 - 19,2	1	5,9
8	19,2 y +	1	5,9

Gráfico 1. Distribución de frecuencia del nivel de exposición personal a polvo respirable en 17 mediciones para 7 empresas.



Cada barra representa un aumento de 2,4 mg/m<sup>3</sup> respecto del intervalo anterior

Tabla 18. Distribución de frecuencia de valores y rango de valores del nivel de exposición personal a sílice respirable en 17 mediciones para 7 empresas

Nº veces sobre 0,08 mg/m <sup>3</sup>	Valores y rango de valores	Frecuencia	%	% Acum.↑
0,3	0,025	1	5,9	100
1,1	0,087	1	5,9	94,1
2,3	0,182 - 0,186	2	11,8	88,2
4,4	0,351	1	5,9	76,5
5,3 y +	0,422 - 8,398	12	70,6	70,6

Tabla 19. Resumen estadístico de datos de 17 evaluaciones realizadas en 7 empresas.

Variable	Rango	Percentiles			Media(DE)
		p25	p75	p50	
Duración medición (min)	172 – 424	313	345	369	325(74)
Polvo (mg/m <sup>3</sup> )*	0,359 – 20,664	1,410	4,303	8,140	3,198(3,375)
Sílice (mg/m <sup>3</sup> )*	0,025 – 8,398	0,351	1,220	1,760	0,722(4,559)
Total de trabajadores	1 – 12	2	3	6	4,9(4,3)
Consumo eléctrico (total KW/h)	2,4 – 60,0	4,5	4,6	6,2	15,9(21,5)
Media % sílice materia prima	5,0 – 95,0	30	40	46	43,2(27,3)
Media % trabajo en seco	0,0 – 100,0	64	100	100	75,2(38,2)
Flujo total hora (m <sup>3</sup> /h)	0,0 – 111.801	576	9.158	22.532	25.047(36.104)
Recambio aire hora	0 – 1.365	6,5	31,2	158,8	227(439)

\*La media y DE de polvo y sílice respirable corresponden a su forma geométrica.

La Tabla 20 y

Tabla 21 presenta el promedio de las variables de interés según niveles de exposición a polvo y a sílice respirable. Las variables Consumo eléctrico y Porcentaje de tiempo con trabajo en seco se correlacionan positivamente con las dos variables de exposición. Flujo total hora y renovación de aire hora muestran una correlación negativa, aumentando el nivel de exposición hacia valores más bajos de dichas variables.

A la luz de la estadística inferencial y considerando el efecto conjunto de las variables de interés, Número de trabajadores (tamaño de empresa), Porcentaje de tiempo con trabajo en seco y renovación de aire hora, muestra ser estadísticamente significativas en la asociación con el nivel de exposición personal a polvo respirable (valor  $p < 0,0001$ , Test Wald). Ningunas de las variables explicativas mostraron ser estadísticamente significativa en relación con el nivel de exposición personal a sílice respirable (valor  $p > 0,05$ ).

Tabla 20. Promedio y desviación estándar datos variables explicativas, según nivel de exposición personal a polvo respirable, en 7 empresas y un total de 17 evaluaciones.

Variables	Polvo ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )			Total
	0,3 - 1,0	1,0 - 2,4	$\geq 2,4$	
Nº Med	3	5	9	17
Sílice ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )*	0,143(1,545)	0,251(3,728)	2,229(1,948)	0,722(4,459)
Media duración periodo medición (min)	288(95,2)	350(78,1)	323(69,4)	325(74,3)
Total de trabajadores	6,7(5,0)	6,6(5,3)	3,3(3,4)	4,9(4,3)
Consumo eléctrico (Total KW/h)	3,8(1,2)	4,0(1,1)	26,5(25,7)	15,9(21,5)
Media % sílice materia prima	58,3(33,3)	38,(33,7)	41,1(23,3)	43,2(27,3)
% de tiempo de trabajo en seco	41,7(52,0)	65,8(40,8)	91,7(25,0)	75,2(38,2)

Flujo total hora (m <sup>3</sup> /h)	57.787(55.681)	16.702(9.027)	18.769(36.074)	25.047(36.104)
Nº de recambio aire hora	509(746)	131(152)	187(445)	227(439)

Tabla 21. Promedio y desviación estándar datos variables explicativas, según nivel de exposición personal a sílice respirable, en 7 empresas y un total de 17 evaluaciones.

Variables	Sílice (mg/m <sup>3</sup> )				Total
	0,004 – 0,08 ≥2,0	0,08 – 0,45	0,45 – 2,0		
Nº Med.	1	6	7	3	17
Polvo (mg/m <sup>3</sup> )*	1,87(1,0)	0,902(1,843)	5,431(1,945)	13,966(1,854)	3,198(3,375)
Media duración periodo medición (min)	240(0,0)	343,5(89,9)	305,1(71,4)	362,3(24,2)	324,9(74,3)
Total de trabajadores	1 (0,0)	7,7(5,0)	4,3(3,7)	2,0(1,0)	4,9(4,3)
Consumo eléctrico (Total KW/h)	3,3(0,0)	4,3(1,0)	26,2(27,6)	19,0(23,4)	15,9(21,5)
Media % sílice materia prima	5,0 (0,0)	44,2(26,2)	53,9(30,0)	29,2(11,3)	43,2(27,3)
Media % trabajo en seco	100,0 (0,0)	42,3(40,5)	89,3(28,3)	100,0(0,0)	75,2(38,2)
Flujo total hora (m <sup>3</sup> /h)	17.660 (0,0)	34.663(43.458)	25.319(39.920)	7.640(12.899)	25.047(36.104)
Nº de recambio aire hora	168(0,0)	272(538)	276(499)	43(69)	227(439)

### Vidrierías

Solo en dos vidrierías se evaluó la exposición personal a polvo y sílice respirable, en ambas no se registró actividades que generaran polvo o exposición a sílice durante las mediciones. Las principales actividades desarrolladas durante la medición fueron: corte de vidrio con punta diamante (15 a 20 minutos aprox.), pulido de vidrios con lija de fierro (menor a 5 minutos), y principalmente trabajo con aluminio y PVC

y armando ventanas. La concentración promedio observado en dichas empresas se presenta en la Tabla 22.

Tabla 22. Nivel de exposición personal a polvo y sílice para tres evaluaciones hechas en dos vidrierías.

Mediciones Empresa medición	Duración medición (min)	Polvo (mg/m <sup>3</sup> )	Sílice (mg/m <sup>3</sup> )
Empresa 1 medición 1	206	0,1428	0,0314
Empresa 1 Medición 2	420	0,0560	0,0035
Empresa 2 Medición 1	364	0,0081	0,0040

La concentración mediana de polvo respirable en las 24 vidrierías evaluadas con dusttrak varió de 0,01 a 0,309 mg/m<sup>3</sup>, en el 75% de ellas dicho valor alcanzó 0,072 mg/m<sup>3</sup>. Los niveles máximos de exposición registrados, variaron de 0,036 a 7,790 mg/m<sup>3</sup> y en el 75% de las vidrierías dicho valor alcanzó 1,418 mg/m<sup>3</sup>.

Las condiciones de ventilación representadas por el Flujo y renuevo hora, no muestran asociación con la concentración marcada por los percentiles 25, 50 y 75 a polvo respirable (

Gráfico 2).

La distribución de frecuencia de porcentaje de sílice en las muestras de polvo sedimentado a la altura de la zona respirable se presenta en el Gráfico 3.



Tabla 23. Exposición a polvo respirable, medido por dusttruk en 24 vidrierías de la región. Rango, percentiles 25, 50 y 75, promedio y desviación estándar de concentraciones de polvo respirable no clasificado.

Concentración de masa de polvo respirable		Rango	Percentiles			Media(DE)
			p25	p75	p50	
Duración medición (min)		19 - 205	88	121	128	109,3(41,7)
Medición en tiempo real polvo respirable (mg/m <sup>3</sup> )	Mín	0,000 - 0,213	0,012	0,022	0,033	0,036(0,050)
	Máx	0,036 - 7,790	0,149	0,605	1,418	1,210(1,833)
	P25	0,007 - 0,238	0,020	0,040	0,065	0,059(0,061)
	P50	0,010 - 0,309	0,028	0,048	0,072	0,077(0,079)
	P75	0,011 - 0,415	0,046	0,065	0,094	0,101(0,099)

Tabla 24. Condiciones de ventilación y porcentaje de sílice de material sedimentado en zonas a la altura respirable en 24 vidrierías.

Variable	Rango	Percentiles			Media(DE)
		p25	p75	p50	
Flujo total hora (m <sup>3</sup> /h)	0 - 23.406	2.908	5.011	9.847	6.895(5.586)
Nº de recambio aire hora	0 - 281,5	17,9	25,9	63,8	52,2(64,5)
Material sedimentado	1,4 - 13,8	7,3	8,6	10,4	8,6(2,9)

Gráfico 2. Correlación entre las variables, percentil 25, 50 y 75 de concentración de masa de polvo respirable, flujo y renovación de aire hora.

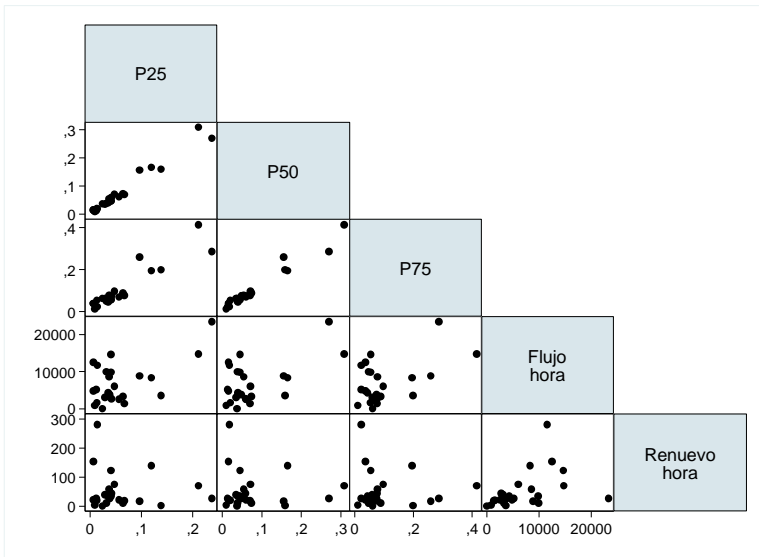
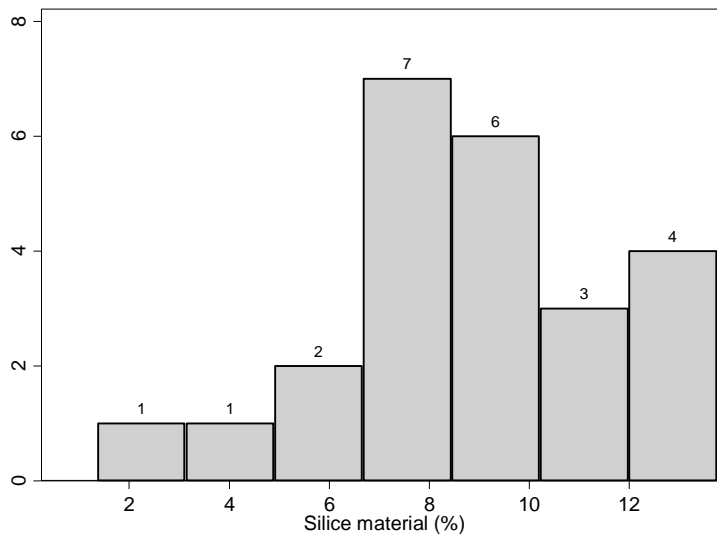


Gráfico 3. Distribución de frecuencia del porcentaje de sílice en 24 muestras de material sedimentado en la zona respirable.



***Objetivo 4. Establecer un modelo estadístico de screening que estime por rubro el nivel de exposición personal en función de parámetros observables presentes en los procesos productivos.***

En los rubros Artesanía en piedra, Marmolerías, y Mueblerías que trabajan con mármoles, piedras y aglomerado de cuarzo; si bien existen variables en los procesos productivos que se correlacionan significativamente con la concentración promedio de masa de polvo y sílice respirable, estas dejan de ser relevantes ante la magnitud de la sobre exposición aquí descubierta.

En los rubros Laboratorio dental y Vidriería, no fue posible encontrar procesos productivos que sean predictores del nivel de exposición personal a polvo y sílice respirable.

***Resultados aspectos éticos de la investigación.***

Se cuenta con el consentimiento informado de todos los trabajadores y empresas que participaron de las mediciones. Todas las empresas y trabajadores medidos recibieron un informe con los resultados del estudio. Dichos informes incluyeron información sobre el nivel de exposición a polvo y sílice respirable, explicando en lenguaje simple, su significado e implicancias para la salud de los trabajadores. Además se aportan recomendaciones sobre buenas prácticas en el control de polvo y sílice, con el fin de orientar esfuerzos para mejorar las condiciones de trabajo. Los informes fueron entregados personalmente por los estudiantes de prevención de riesgos que participaron del trabajo de campo, quienes lo leyeron y explicaron respondiendo consultas de los trabajadores y dueños de empresas. Este hipervínculo lleva a la carpeta de informes donde se ocultaron los nombres de las empresas y trabajadores.

## **IV. Discusión**

En la literatura internacional y nacional ha reportado niveles de exposición a polvo y sílice elevados en los 5 rubros estudiados. El

referente nacional corresponde al estudio de Exposición a Sílice de 2004-2005<sup>15</sup>.

En el rubro Artesanía en piedra, el nivel de exposición a sílice respirable promedio (DE) geométrico encontrado en esta investigación de 1,25(4,49) mg/m<sup>3</sup>; es mayor a lo hallado en el estudio nacional en el mismo rubro 0,081(2,946) mg/m<sup>3</sup>. Dicho estudio incluía mediciones de trabajo en seco y húmedo. En el trabajo en húmedo las mediciones no alcanzaron el límite inferior de cuantificación de la técnica de análisis y el trabajo en seco con piedra Combarbalita fue el que arrojó el nivel más alto 0,37 mg/m<sup>3</sup>. En el referente nacional el 45,5% de las mediciones (11) superaron el límite permisible y una alcanzó el valor del límite. Mientras que en esta investigación las 13 evaluaciones superaron la concentración de masa para sílice respirable de 0,15 mg/m<sup>3</sup>.

Se ha demostrado que los laboratoristas dentales pueden estar expuestos a desarrollar silicosis. Un caso extremo ocurrido en nuestro país corresponde al de un laboratorista dental con 30 años de exposición puliendo prótesis dentaria, el cual fue diagnosticado con silicosis y tuvo que ser sometido a un trasplante pulmonar<sup>45</sup>.

En el rubro Laboratorio dental, el estudio nacional de la Exposición a Sílice mostró resultados similares a los hallados en esta investigación. El estudio nacional que realizó 34 mediciones en 13 laboratorios dentales de 8 regiones del país, encontró una media geométrica de 0,028 mg/m<sup>3</sup> y algunos casos con concentraciones superiores al límite llegando a 0,42 mg/m<sup>3</sup>. En esta investigación se encontró una media geométrica de 0,011 mg/m<sup>3</sup>, con dos excepciones una que rebasó el límite permisible y otra que estuvo muy cercano al límite.

En el rubro Marmolería la situación de exposición a sílice hallada en esta investigación, rebasa los niveles de exposición máximo encontrados en el estudio nacional del 2004-2005 en el mismo rubro. Este rubro mostró un promedio (DE) geométrico de 0,713(20,522) mg/m<sup>3</sup>, en cambio el referente nacional fue 0,049(2,428) mg/m<sup>3</sup>. Las diferencias pueden deberse a las condiciones de ventilación excepcionalmente malas de una de las marmolerías y también en la diferencia en el porcentaje de sílice en polvo sedimentado, 9,8% en una

de las marmolerías de esta investigación, contra 2,9% promedio en tres mediciones del estudio nacional.

El estudio nacional no reporta resultados para marmolerías o empresas como mueblerías que trabajan con granito y aglomerado de cuarzo. Sin embargo, se ha descrito en la literatura el riesgo de silicosis de los trabajadores que desempeñan actividades laborales con estas materias primas<sup>71-74</sup>. Un interesante reporte en el país Vasco presenta los resultados de mediciones realizadas en 14 talleres de diferentes tamaños (1 a 7 trabajadores con exposición directa) y que usaban como materia prima aglomerado de cuarzo o granito<sup>74</sup>. Los niveles de exposición a polvo y sílice son sorprendentemente altos  $>10\text{mg}/\text{m}^3$  en la mayoría de los casos. Estos resultados concuerdan con los hallazgos de esta investigación.

En el rubro Vidriería, los hallazgos no son concluyentes respecto de la exposición a sílice, por haber alcanzado a medir solo dos empresas. Las mediciones de porcentaje de sílice en material sedimentado encontradas en este estudio (1,4 a 13,8%) concuerdan con los resultados del estudio nacional de 2004-2005 que reportó porcentajes entre 1,6 y 21%. Esta situación revela la existencia de riesgo en vidrierías que es necesario evaluar con más precisión.

Entre las debilidades de este estudio se encuentra la subrepresentación del rubro marmolería. Este rubro es relevante dada la gran cantidad de micro y pequeñas empresas distribuidas a lo largo de nuestro país que trabajan con mármol como materia prima y que están incorporando aglomerados de cuarzo a sus procesos productivos, situación que pudieran agravar el riesgo a silicosis. En el rubro de Vidriería, solo se pudo constatar que los trabajadores no están expuestos a polvo respirable; sin embargo, no fue posible representar adecuadamente la actividad de pulido de bordes de trozos de vidrio, dada su baja frecuencia. Indirectamente se constató, que los trabajadores en vidrierías pudieran estar expuestos a la sílice considerando la presencia sílice en muestras de polvo decantado (8%); y al evaluar, en dos ensayos, la cantidad de polvo respirable producto del pulido de bordes de vidrios que llegó a niveles sobre  $2,4\text{mg}/\text{m}^3$ .

## V. Conclusiones

De las 58 empresas evaluadas, solo 10 declaran pertenecer a un OAL con un total de 56 trabajadores protegidos para efecto del seguro contra accidentes del trabajo y enfermedades profesionales, sin embargo declaran no haber tenido contacto con sus respectivos OAL para capacitaciones o evaluaciones de riesgos. La gran mayoría de las empresas 82,8%, con un total de 110 trabajadores, están fuera del sistema de protección laboral.

Además se observó que el 70% de los trabajadores evaluados tienen a lo más nociones generales de la silicosis, 64% solo indica la protección respiratoria como medida de seguridad y el 83,3% no se protege o tienen falsa percepción de protección.

Los rubros que demostraron mayor nivel de exposición a polvo y a sílice respirable son:

- Artesanía en piedra: Si bien existe gran exposición a polvo respirable en este rubro, lo más relevante es el nivel de exposición a sílice respirable, ya que superó al doble del Límite Ponderado Permisible (LPP), con un promedio (DE) geométrico de 1,25(4,49)  $\text{mg}/\text{m}^3$  [0,259 – 6,04  $\text{mg}/\text{m}^3$ ; 95% IC].
- El trabajo de pulido en seco de piezas de piedra con esmeriles, produce una explosión de polvo a centímetros de las manos del trabajador, por lo que las condiciones ambientales como la presencia de corrientes de aire que se lleven el polvo, son insuficientes para mitigar la exposición. Las maniobras de mitigación deben considerar esta situación y la ausencia de hábito de protección respiratoria en estos trabajadores, incorporando una adecuada capacitación para lograr una disminución de la exposición en forma efectiva.

Un punto importante de resaltar es que todos los trabajadores medidos son desprotegidos para efectos del seguro de accidentes del trabajo y enfermedades Laborales. Se estima que las otras empresas no medidas del rubro, están en la misma condición de desprotección.

- Marmolerías y mueblerías que trabajan mármol, granito y aglomerado de cuarzo: 16 de las 17 mediciones de exposición personal a sílice realizadas en las 7 empresas, superaron el LPP de la norma chilena, el 88,2% la supera en 2,3 o más veces. Esta situación puede afectar a un total de 21 trabajadores y en forma directa a 15 trabajadores que se declaran expuestos en dichas empresas. Sólo las mueblerías están adscritas al ISL con un total de 7 trabajadores de los cuales 5 fueron señalados con exposición directa.

En estos tres últimos rubros, una posible solución cuya eficacia y su efectividad es necesario evaluar, es el reemplazo del trabajo de corte y pulido en seco por el trabajo en húmedo en mesas de corte estacionaria o el uso de esmeriles portátiles con sistemas de aporte de agua. Existe evidencia que las labores realizadas con este tipo de tecnologías disminuyen sustancialmente la exposición a polvo y sus diversos contenidos<sup>75</sup>.

- Laboratorio dental: Solo una de las empresas evaluadas cuenta con permiso sanitario. Presentó niveles de exposición a sílice superiores del 50% de LPP (0,0481 y 0,0555 mg/m<sup>3</sup> medición día 1 y 2 respectivamente). Dicha empresa es la única adherida a un OAL, por consiguiente los trabajadores del resto de empresas son desprotegidos en relación a la ley N°16.744.

La falla en el sistema de arenado con cuarzo de uno de los laboratorios, fue el factor causal de la sobre exposición personal a sílice registrada en uno de los laboratorios.

En general, el trabajo de pulido de prótesis con piedra pómez es la actividad que se le asoció un mayor grado de exposición a sílice.

- Vidrierías: En este rubro es preciso evaluar directamente las actividades que puedan generar exposición a sílice como es el pulido con esmeril eléctrico en seco de bordes de planchas de vidrio. Las empresas evaluadas declaran hacer dicha actividad con muy baja frecuencia y solo si el cliente lo pide, desconociendo el peligro para la salud de los trabajadores. La actividad de pulido

podiera explicar el gran porcentaje de sílice en todas las muestras de polvo sedimentado tomadas.

Buscar estrategias indirectas a través de modelos estadísticos para estimar el nivel de exposición personal a sílice y polvo respirable tiene sentido cuando hay variabilidad tanto en los factores de exposición como en la respuesta. Los resultados de esta investigación muestran escasa variabilidad en la respuesta (nivel de exposición a polvo y sílice respirable) dentro de cada rubro. Hubo rubros con escasa o nula exposición y otros, con altos niveles de exposición, pero sin gran variabilidad, por lo cual las variables explicativas que, si bien muestran asociación con la respuesta, no logran ser de utilidad práctica como predictoras. En general, los niveles de exposición altos se asocian a deficiencias específicas en los procesos productivos, que si se superan, se solucionaría el problema de la alta exposición independiente de las variables explicativas. La deficiencia más importante es el fracturamiento en seco del material que contiene sílice.

Ante la magnitud del problema encontrado en los rubros de Artesanos en piedra, Marmolerías y Mueblerías que trabajan mármoles, granito y aglomerados de cuarzo, es necesario impulsar medidas urgentes que eliminen la exposición y concentrar los esfuerzos en evaluar su efectividad y su eficacia en la realidad de las MYPES de nuestro país.



## Bibliografía

1. Bernaldes B, Marchetti; Nella, Jaramillo H. Plan Nacional para la Erradicación de la Silicosis, estrategia 2009-2030 [Internet]. 2009. Disponible en: <http://www.planerradicacionsilicosis.net/>
2. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. DS 594 Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo [Internet]. 2011. Disponible en: [http://www.mineduc.cl/usuarios/convivencia\\_escolar/doc/201205230957420.Decreto\\_594\\_condiciones\\_sanitarias\\_MINSAL.pdf](http://www.mineduc.cl/usuarios/convivencia_escolar/doc/201205230957420.Decreto_594_condiciones_sanitarias_MINSAL.pdf)
3. Instituto de Salud Pública Gobierno de Chile. Evaluación Cualitativa del Riesgo a Sílice (ECRES) [Internet]. Sistema de información de apoyo al Plan Nacional de Erradicación de la Silicosis. 2009. Disponible en: <http://silicosis.ispch.cl/HInicio.aspx>
4. Porta M, John M. L. A Dictionary of Epidemiology. Fifth. Oxford University Press Inc NY, editor. 2008.
5. Hinds WC. Aerosol technology: properties, behavior and measurement of airborne particles. 2nd editio. A Wiley-Interscience Publication. John Wiley & Sons, Inc; 1999. 200 p.
6. World Health Organization. Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter , Ozone and Nitrogen Dioxide [Internet]. 2003. Disponible en: [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0005/112199/E79097.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/112199/E79097.pdf)
7. Velasco J, Ubiedo C, Velasco B. Fracción respirable de materia particulada: convenios y evaluación ambiental. APA Prevención [Internet]. 2008;185:22-8. Disponible en: [http://www.apaprevencion.com/fotos/articulos\\_tecnicos/p185\\_3.pdf](http://www.apaprevencion.com/fotos/articulos_tecnicos/p185_3.pdf)

8. De Nevers N. Naturaleza de los contaminantes en partículas. Ingeniería de control de la contaminación del aire. McGraw - H. México: LIBEMEX; 1998. p. 183-219.
9. Akbar-Khanzadeh F, Milz S a, Wagner CD, Bisesi MS, Ames AL, Khuder S, et al. Effectiveness of dust control methods for crystalline silica and respirable suspended particulate matter exposure during manual concrete surface grinding. J Occup Environ Hyg [Internet]. 2010 Dec [cited 2012 Jul 2];7(12):700-11. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21058155>
10. Meeker JD, Cooper MR, Lefkowitz D, Susi P. Engineering control technologies to reduce occupational silica exposures in masonry cutting and tuckpointing. Public Health Rep [Internet]. 2009;124 Suppl:101-11. Disponible en: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2708661&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
11. Nieuwenhuijsen MJ. 1. Introduction to exposure assessment. Exposure Assessment in Occupational and Environmental Epidemiology. 2003. p. 3-21.
12. Jalloul A, Banks D. The Health Effects of Silica Exposure. In: Lippincott Williams & Wilkins 2006, editor. Environmental and occupational medicine. Fourth. 2007. p. 365-87.
13. Ballet J. Tierras de diatomeas, curiosidad natural al servicio de la industria. Rev Creces [Internet]. 1985; Disponible en: <http://www.creces.cl/new/index.asp?imat=3&tc=3&nc=5&art=348> >
14. Frederic L KJ. Diatomite. Surface Mining, 2da Edición. B. A. Kenn. 1990. p. 153.
15. Alcaíno J, Solis R, Quintanilla P. Estudio de la Exposición a Sílice. Chile 2004-2005 [Internet]. 2006. Disponible en: [http://silicosis.ispch.cl/Estudio\\_Exposicion\\_Silice\\_Chile.pdf](http://silicosis.ispch.cl/Estudio_Exposicion_Silice_Chile.pdf)

16. Vergara M, Flores I. Génesis de la combarbalita en el norte de Chile. 20(2):229–35.
17. Baron PA. Factor affecting aerosol sampling [Internet]. NIOSH Manual of Analytical Methods. 2003. Disponible en: <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/chapter-o.pdf>
18. Brown JS, Gordon T, Price O, Asgharian B. Thoracic and respirable particle definitions for human health risk assessment. Part Fibre Toxicol [Internet]. 2013 Jan;10:12. Disponible en: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3640939&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
19. Chung A, Chang DPY, Kleeman MJ, Perry KD, Cahill T a., Dutcher D, et al. Comparison of Real-Time Instruments Used To Monitor Airborne Particulate Matter. J Air Waste Manage Assoc [Internet]. 2001 Jan [cited 2014 Jan 15];51(1):109–20. Disponible en: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10473289.2001.10464254>
20. Nieuwenhuijsen MJ. 2. Questionnaires. In: Nieuwenhuijsen MJ, editor. Exposure Assessment in Occupational and Environmental Epidemiology. Oxford-University-Press; 2003. p. 21–38.
21. Fransman W, Cherrie J, Tongeren M Van, Schneider T, Tischer M, Schinkel J, et al. Development of a mechanistic model for the Advanced REACH Tool (ART) [Internet]. 2013. Disponible en: [https://www.advancedreachtool.com/assets-1.5.12110.3/doc/ART\\_Mechanistic\\_model\\_report\\_v1\\_5\\_20130118.pdf](https://www.advancedreachtool.com/assets-1.5.12110.3/doc/ART_Mechanistic_model_report_v1_5_20130118.pdf)
22. Sauvé J-F, Beaudry C, Bégin D, Dion C, Gérin M, Lavoué J. Silica exposure during construction activities: statistical modeling of task-based measurements from the literature. Ann Occup Hyg [Internet]. 2013 May [cited 2014 Sep 25];57(4):432–43. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23223272>
23. Office of Environmental Health Hazard Assessment. USA. Chronic toxicity summary. Silica (crystalline respirable). Report on carcinogens : carcinogen profiles / U.S. Dept. of Health and Human

Services, Public Health Service, National Toxicology Program. 2005 Jan.

24. Ministerio de Salud, Subsecretaría de Salud Pública, Instituto de Salud Pública. Resolución 172 Exenta. Aprueba protocolo para la toma de muestra de sílice libre cristalizada en su fracción respirable y de polvo no clasificado total y fracción respirable, elaborado por el departamento de salud ocupacional. 2013.
25. National Institute for Occupational Safety and Health. Particulates not otherwise regulated, Total 0500 [Internet]. 1994. Disponible en: <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/0500.pdf>
26. National Institute for Occupational Safety and Health. Particulates not otherwise regulated, respirable 0600. 1998. 1998.
27. National Institute for Occupational Safety and Health. Silica, Crystalline by VIS: Method 7601. 2003. p. 2-6.
28. The National Institute for Occupational Safety and Health. Silica , Crystalline by IR. Method 7602. 1994.
29. The National Institute for Occupational Safety and Health. Silica, Crystalline by XRD. Method 7500 [Internet]. 2003. Disponible en: <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/7500.pdf>
30. Departamento de Salud Ocupacional - Instituto de Salud Pública. Resolución 172 EXENTA. Protocolo para la toma de muestra de sílice libre cristalizada en su fracción respirable y de polvo no clasificado total y fracción respirable [Internet]. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile; 2013. p. 8. Disponible en: [http://www.ispch.cl/GOBIERNO\\_TRANSPARENTE/LEY/plantillas\\_feb\\_2013/res\\_isp\\_172\\_2013.pdf](http://www.ispch.cl/GOBIERNO_TRANSPARENTE/LEY/plantillas_feb_2013/res_isp_172_2013.pdf)
31. Benke G, Sim M, Fritschi L, Aldred G. Beyond the job exposure matrix (JEM): the task exposure matrix (TEM). *Ann Occup Hyg* [Internet]. 2000 Sep;44(6):475-82. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10963712>

32. C BB. Situación de exposición laboral a sílice en Chile; Situation of occupational exposure to silica in Chile. *Cienc Trab.* 2008;(c):1-6.
33. Teschke K. 8. Exposure surrogate: Job-exposure matrices, self-report, and expert evaluations. *Exposure Assessment in Occupational and Environmental Epidemiology.* 2003. p. 119-80.
34. Nieuwenhuijsen MJ. 5. Personal exposure monitoring. In: Nieuwenhuijsen MJ, editor. *Exposure Assessment in Occupational and Environmental Epidemiology.* Oxford Medical Publication; 2003. p. 71-82.
35. Catal M., Galindo M. Utilización de los modelos multinivel en investigación sanitaria. *Gac Sanit [Internet].* 2003;17(Supl 3):35-52. Disponible en: <http://www.scielosp.org/pdf/gs/v17s3/revision5.pdf>
36. Hnizdo E, Vallyathan V. Chronic obstructive pulmonary disease due to occupational exposure to silica dust: a review of epidemiological and pathological evidence. *Occup Environ Med.* 2003 Apr;60(4):237-43.
37. Barboza CEG, Winter DH, Seiscento M, Santos UDP, Terra-Filho M. Tuberculosis and silicosis: epidemiology, diagnosis and chemoprophylaxis. *J Bras Pneumol.* 2008;34(February):961-8.
38. Beckett W, Abraham J, Becklake M, Christiani D, Cowie R, Davis G, et al. Adverse effects of crystalline silica exposure. *Am J Respir Crit Care Med.* 1997;155:761-5.
39. National Institute for Occupational Safety and Health. Health Effects of Occupational Exposure to Respirable Crystalline Silica. 2002;(April). Disponible en: <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2002-129/>
40. Calvert GM, Rice FL, Boiano JM, Sheehy JW, Sanderson WT. Occupational silica exposure and risk of various diseases: an analysis using death certificates from 27 states of the United States. *Occup Environ Med.* 2003 Feb;60(2):122-9.

41. Erren TC, Glende CB, Morfeld P, Piekarski C. Is exposure to silica associated with lung cancer in the absence of silicosis? A meta-analytical approach to an important public health question. *Int Arch Occup Environ Health*. 2009 Aug;82(8):997–1004.
42. Ross MH, Murray J. Occupational respiratory disease in mining. *Occup Med (Lond)* [Internet]. 2004 Aug [cited 2012 Mar 4];54(5):304–10. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15289586>
43. Kachuri L, Villeneuve PJ, Parent ME, Johnson KC, Harris SA. Occupational exposure to crystalline silica and the risk of lung cancer in Canadian men. *Int J cancer*. 2013;10.1002/ij.
44. Vida S, Pintos J, Parent M-E, Lavoué J, Siemiatycki J. Occupational exposure to silica and lung cancer: pooled analysis of two case-control studies in Montreal, Canada. *Cancer Epidemiol biomarkers Prev* [Internet]. 2010 Jun [cited 2014 Mar 10];19(6):1602–11. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20501770>
45. Parada MT, Aliste V, Gil R, Rodríguez P, Fica M, Herzog C, et al. Silicosis y trasplante pulmonar. *Rev Chil enfermedades Respir*. 2007;99–105.
46. OSALAN. Instituto Vasco de Seguridad y Salud Laborales., Gobierno Vasco. Departamento de empleo y asuntos Sociales. Protocolo de vigilancia de la salud específica silicosis y otras neumoconiosis [Internet]. 2001. Disponible en: [http://www.guiasalud.es/GPC/GPC\\_487\\_Protocolo\\_silicosis.pdf](http://www.guiasalud.es/GPC/GPC_487_Protocolo_silicosis.pdf)
47. Contreras G (ACHS). Silicosis en Chile 2004. 2004. p. 14–8.
48. Ramírez A V. Silicosis. *An Fac Med*. 2013;74(1):49–56.
49. Steenland K, Deddens J a, Zhao S. Biases in estimating the effect of cumulative exposure in log-linear models when estimated exposure levels are assigned. *Scand J Work Environ Health* [Internet]. 2000 Feb;26(1):37–43. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10744176>

50. Bates D V, Gotsch AR, Brooks S, Landrigan PJ, John L, Merchant JA, et al. Prevention of Occupational Lung Disease of Occupational. 2011;
51. Tjoe Nij E. Dust Control Measures in the Construction Industry. *Ann Occup Hyg* [Internet]. 2003 Apr 1 [cited 2012 Jul 29];47(3):211–8. Disponible en: <http://annhyg.oupjournals.org/cgi/doi/10.1093/annhyg/meg023>
52. Hammond V, Reeder AI, Gray AR, Bell ML. Are workers or their workplaces the key to occupational sun protection? *Heal Promot J Aust* [Internet]. 2008;19:97–101. Disponible en: <http://www.healthpromotion.org.au/journal/journal-downloads/article/1-hpja/61-are-workers-or-their-workplaces-the-key-to-occupational-sun-protection>
53. Bard D, Burdett G. Exposure of UK industrial plumbers to asbestos, Part II: Awareness and responses of plumbers to working with asbestos during a survey in parallel with personal sampling. *Ann Occup Hyg* [Internet]. 2007 Mar [cited 2012 Jul 2];51(2):113–9. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17189279>
54. McCool JP, Reeder AI, Robinson EM, Petrie KJ, Gorman DF. Outdoor workers' perceptions of the risks of excess sun-exposure. *J Occup Health* [Internet]. 2009 Jan;51(5):404–11. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19590155>
55. Ashford NA, Caldart CC. Government Regulation of Environmental and Occupational Health in the Environment in The United States and the European Union. 2010.
56. Ministerio de Salud, Ministerio del Trabajo y Previsión Social, Gobierno de Chile. Directrices Específicas sobre Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo para Empresas con Riesgo de Exposición a Sílice [Internet]. 2013. Disponible en: [http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---americas/---ro-lima/--sro-santiago/documents/publication/wcms\\_218736.pdf](http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---americas/---ro-lima/--sro-santiago/documents/publication/wcms_218736.pdf)

57. Gobierno de Chile - Ministerio Secretaría General de La Presidencia. Constitución Política del Estado de Chile [Internet]. 2005. Disponible en: <http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=242302>
58. Ministerio del Trabajo y Previsión Social-Gobierno de Chile. Ley 16.744 Establece normas sobre accidentes del trabajo y enfermedades profesionales [Internet]. 2008. Disponible en: <http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=28650&buscar=16.744>
59. Secretaría Regional Ministerial de Salud- Región de La Araucanía. Plan regional para la erradicación de la silicosis. 2009.
60. Superintendencia de Seguridad Social. Tablas PlanESi, Circular 2.893. 2012. p. 1-11.
61. Gobierno de Chile - Dirección del Trabajo. Código del Trabajo [Internet]. 2012. Disponible en: [http://www.dt.gob.cl/legislacion/1611/articles-95516\\_recurso\\_1.pdf](http://www.dt.gob.cl/legislacion/1611/articles-95516_recurso_1.pdf)
62. Henriquez-Amestoy L. Políticas para las MIPYMES frente a la crisis. Conclusiones de un estudio comparativo de América Latina y Europa. 2009. 1-84 p.
63. Organización Internacional del Trabajo - Oficina Chile, Servicio de Cooperación Técnica - Gobierno de Chile. El trabajo decente en las micro y pequeñas empresas chilenas [Internet]. 2011. 1-64 p. Disponible en: [http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---americas/---ro-lima/---sro-santiago/documents/publication/wcms\\_178057.pdf](http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---americas/---ro-lima/---sro-santiago/documents/publication/wcms_178057.pdf)
64. Servicio de Cooperación Técnica - Gobierno de Chile, Ministerio de Economía - Fomento y Turismo. La Situación de la Micro y Pequeña Empresa en Chile [Internet]. 2013. Disponible en: [http://www.sercotec.cl/Portals/0/MANUALES/La\\_situacion\\_de\\_la\\_MIPE\\_en\\_Chile.pdf](http://www.sercotec.cl/Portals/0/MANUALES/La_situacion_de_la_MIPE_en_Chile.pdf)
65. Benach J, Muntaner C, Members of the employment Condition Network. Employment and working conditions as health



determinants. Improving Equity in Health by Addressing Social Determinants [Internet]. 2011 [cited 2012 Aug 17]. p. 165. Disponible en: [http://whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789241503037\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789241503037_eng.pdf)

66. Ministerio de Economía - Fomento y Reconstrucción - Subsecretaría de Economía - Fomento y Reconstrucción. Fija normas especiales para las empresas de menor tamaño [Internet]. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile; 2010. p. 21. Disponible en: [www.leychile.cl](http://www.leychile.cl)
67. Solar O, Irwin A. A conceptual framework for action on the social determinants of health. Social Determinants of Health Discussion Paper 2 (Policy and Practice) [Internet]. 2010. Disponible en: [http://www.who.int/social\\_determinants/corner/en/](http://www.who.int/social_determinants/corner/en/)
68. Kottow M. Medicina ocupacional, ética y riesgos. Bioética en Salud Pública. 2005. p. 305–12.
69. Sierra Vargas MP. Las cenizas, gases volcánicos y la salud respiratoria. Rev del Inst Nac Enfermedades Respir. 2012;71(2):132–8.
70. SERNAGEOMIN. Ministerio de Minería. Volcán Calbuco emitió 210 millones de metros<sup>3</sup> de ceniza en tres días [Internet]. 2015. Disponible en: <http://www.sernageomin.cl/detalle-noticia.php?iIdNoticia=213>
71. Martínez C, Prieto A, García L, Quero A, González S, Casan P. Silicosis, una enfermedad con presente activo. Arch Bronconeumol [Internet]. 2010 Feb [cited 2014 Jul 31];46(2):97–100. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19818543>
72. Pascual S, Urrutia I, Ballaz A, Arrizubieta I, Altube L, Salinas C. Prevalence of silicosis in a marble factory after exposure to quartz conglomerates. Arch Bronconeumol [Internet]. 2011 Jan [cited 2013 Nov 12];47(1):50–1. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21190766>

73. García-Vadillo C, Sánchez-Gómez J, Romero-Morillo J. Silicosis en trabajadores de conglomerados de cuarzo. Arch Bronconeumol [Internet]. 2011 Jan [cited 2014 Jul 31];47(1):52-3. Disponible en:  
[http://apps.elsevier.es/watermark/ctl\\_servlet?\\_f=10&pident\\_articulo=13190686&pident\\_usuario=0&pcontactid=&pident\\_revista=6&ty=88&accion=L&origen=bronco&web=www.archbronconeumol.org&lan=es&fichero=6v47n01a13190686pdf001.pdf](http://apps.elsevier.es/watermark/ctl_servlet?_f=10&pident_articulo=13190686&pident_usuario=0&pcontactid=&pident_revista=6&ty=88&accion=L&origen=bronco&web=www.archbronconeumol.org&lan=es&fichero=6v47n01a13190686pdf001.pdf)
74. De la Peña MN. Exposición a sílice en el trabajo con aglomerados de cuarzo en el País Vasco. [Internet]. 2010. Disponible en:  
[http://www.euskadi.eus/contenidos/noticia/info2012\\_silicenieves/es\\_noticia/adjuntos/art\\_npena\\_silice\\_CAE\\_expo.pdf](http://www.euskadi.eus/contenidos/noticia/info2012_silicenieves/es_noticia/adjuntos/art_npena_silice_CAE_expo.pdf)
75. Solans-Lampurlanés X, Freixa-Blanxart A, Goberna-Ortiz R, Moreno-Hurtado JJ, Oubiña-Albaladejo A. Aglomerados de cuarzo: medidas preventivas en operaciones de mecanizado. Notas Tec Prevención [Internet]. 2010;890:1-6. Disponible en:  
<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/821a921/890w.pdf>

## **VI. Anexos**

### **Anexo 1. Método (Metodología)**

Diseño epidemiológico: Estudio analítico de corte transversal, con selección aleatoria y tamaño de muestra definido por afijación de costo. El muestreo pretende representación estadística de la población de referencia, previa evaluación de potencia estadística.

La población objetivo corresponde a todos los trabajadores de la región de La Araucanía que se desempeñen en actividades laborales relacionados con marmolerías, vidrierías, laboratorios dentales, artesanía en piedra durante el año 2014. Dicha población se agrupa en empresas y se estratifica por la condición de ser "Protegido" durante el tiempo de estudio. Se considerará — Protegido, cuando esté adherido a la ACHS y haya tenido capacitaciones o evaluaciones de riesgo por parte de este OAL.— Es Desprotegido cuando no esté adherido o afiliado a un OAL, o que coticen en alguno de ellos pero que no hayan tenido nunca capacitaciones o evaluaciones de riesgo por parte de dichos organismos.

El estudio se concentró en aquellas empresas consideradas MYPES, condición que, en la región de La Araucanía se supuso asociada a trabajadores independientes (sin iniciación de actividades en el SII) o que pertenecen a una Micro empresa de tipo familiar.

El desarrollo de esta investigación comprendió 4 etapas (en cada una se usarán encuestas o formularios de registros de datos, construidas especialmente para el estudio.

### *Etapa 1. Construcción del marco muestral:*

El levantamiento del censo de empresas “no protegidas” se hizo mediante el método de bola de nieve<sup>xx</sup> identificando puntos de arranque según las empresas ya identificadas por la SEREMI de La Araucanía, que a la fecha suman 28 solo en tres comunas de la región. Para cubrir nuevas redes de empresas y trabajadores, se utilizó la radio difusión explicando el objetivo del estudio y los beneficios que los trabajadores pueden conseguir. Cada empresa fue caracterizada por su ubicación geográfica, rubro al que pertenece y número de trabajadores.

### *Etapa 2. Muestreo y caracterización general de empresas y trabajadores:*

De cada estrato del marco muestral, proporcional al tamaño de cada “rubro”, se tomó una muestra aleatoria simple de empresas (conglomerados), alcanzando un tamaño muestral total de 70 empresas, seleccionando al azar un trabajador para ser medido en dos jornadas laborales.

El tamaño de muestra fue determinado por afijación de costos, debido al elevado costo del análisis de muestra en laboratorio. Dado que la muestra pretende alcanzar representatividad estadística de la población accesible, se utilizó la metodología de simulación computacional de datos y muestreo para tener estimaciones a priori de la precisión en la estimación de parámetros (nivel promedio de exposición a polvo y sílice respirable) y la potencia estadística esperada

---

<sup>xx</sup> Goodman LA. Snowball Sampling. *Annals of Mathematical Statistics*. 1961;32(1):148–170. La idea central de esta metodología es que cada individuo en la población puede nominar a otros individuos en la población, los cuales tienen la misma probabilidad de ser seleccionados. El supuesto subyacente es que, los miembros de la población escondida no viven en completo aislamiento, es decir, tienen por lo menos una “red social” con la cual es posible contactarlos, partiendo de puntos de arranque (individuos) escogidos aleatoriamente de un conjunto inicial.

para la hipótesis que compara el estrato de empresas informales y las formales. La implementación y resultados de la metodología empleada para los aspectos del muestreo se presentan en el documento: [Población y Muestreo](#).

La racionalidad del muestreo se fundamenta en que se trabaja con empresas que tienen solo un taller, haciendo que la correlación de la exposición entre trabajadores sea muy alta (por lo cual tomar más de uno trabajador sería "poco eficiente"), y al considerar que las condiciones ambientales o laborales pueden variar de un día a otro, haciendo deseable representar dicha fuente de variación el nivel de exposición.

*Etapa 3. Mediciones de exposición personal, registro de datos sobre las condiciones de trabajo y empleo de los trabajadores seleccionados:*

Se contactó a las empresas seleccionadas, se les explicó el estudio e invitó a participar. Las empresas y trabajadores que no aceptaron participar, se consignaron sus características generales y los motivos de no participación, para el estudio de sesgo de selección. Las que aceptaron participar, tuvieron que firmar un consentimiento informado. Los trabajadores fueron sensibilizándolos a participar en el estudio permitiendo que realizaran sus actividades laborales en forma normal.

La estimación de la exposición al polvo de sílice en su fracción respirable contempló un muestreo de tipo personal con el método NIOSH 7500. Para la medición y registro de polvo total respirable, durante el desarrollo de las actividades, se utilizó un equipo TSI™, Dust Truck II Aerosol Monitor modelo 8532 con un filtro para particulares respirable Doll-Oliver.

Las encuestas e instrumentos de observación (video grabadora y de registro de eventos) captaron datos sobre las condiciones de trabajo y empleo de los trabajadores. Entre las variables consideradas están: condiciones laborales: adscripción a la Ley 16.744, tipo de contrato, jornadas y turno; condiciones de trabajo: tipo de materia prima, presencia de mecanismos de control de riesgo, y tiempo de exposición;

parámetros observables en los procesos productivos: temperatura, humedad, presencia de corrientes de aire dentro del taller, presencia de sistemas de ventilación, presencia de sistemas ingenieriles (trabajo húmedo, uso efectivo de medidas de protección).

*Etapas 4. Análisis de los datos según objetivos:*

Descripción de las características de las empresas seleccionadas mediante estadígrafos, gráficos y tablas. Las estimaciones de parámetros, nivel promedio y percentiles de exposición a polvo respirable y de sílice cristalina respirable, se hicieron considerando la estructura poblacional/muestral/factores de expansión, mediante el procedimiento Survey implementado en el software Stata 12. El modelo predictivo de nivel de exposición consideró la estructura multinivel de los datos.

El Modelo estadístico predictivo fue de multinivel, considerando como variable de respuesta el nivel de exposición a polvo de sílice ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) y como variables independientes la temperatura y humedad del ambiente, velocidad y dirección de corrientes de aire, presencia de sistemas de ventilación, presencia de sistemas ingenieriles (trabajo húmedo, uso efectivo de medidas de protección), porcentaje de sílice en la materia prima, potencia herramienta eléctrica usada (rpp y Watts), consumo eléctrico total durante la medición.

## Anexo 2. Resultados construcción marco muestral

### Informe final resultados construcción de marco muestral.

Documento editado y revisado por el investigador principal.

**Profesional** Antropólogo: Patricio Hernán Burgos Saavedra

La preparación de las actividades en terreno para la elaboración del marco muestral de empresas, incluyó dos etapas.

**Etapas de preparación:** Preparativos del levantamiento de información. Incluye todos los procesos de coordinación y planificación del trabajo como la construcción de encuestas y formularios electrónico, ideación de los mecanismos de seguimiento, documentos para la difusión del estudio, definición del perfil de los encuestadores y estrategia para su reclutamiento.

Resultados:

- [Encuesta impresa](#): Centrada principalmente en obtener información sobre el rubro, formalidad y ubicación de las empresas.
- Material [informativo](#) para los encuestadores
- [Documento](#) con datos de contacto en caso de dudas o desconfianza de los empresarios.
- [Listado de números de teléfono y correos electrónicos](#) de las oficinas municipales.
- [Correo electrónico con información](#) para las oficinas municipales.
- [Recurso informático](#) para la capacitación de los encuestadores con información sobre, motivación al estudio y capacitación para la aplicación de la metodología de bola de nieve, medio de pago por el trabajo realizado.
- [Formulario electrónico](#) de reporte del trabajo diario: número de empresas visitadas y elegibles, y escribiendo alguna observación sobre dificultades o pidiendo ayuda en algo específico.
- [Formulario electrónico](#) para el reporte de empresas elegibles halladas.

**Etapas de implementación:** Contacto por correo electrónico o vía telefónica con los alcaldes o representantes y con el encargado de la

Oficina de Mediación Laboral para obtener candidatos a encuestadores, selección de los encuestadores e implementación metodología para el hallazgo de las empresas.

Resultados:

- Se contactó y envió el material informativo, a cada uno de los Alcaldes, Secretarios Municipales, Oficinas de Municipales de Información Laboral (OMIL) y Unidades de Desarrollo Económico Local (UDEL) explicando los objetivos del estudio y solicitando colaboración para su ejecución. Finalmente, se realizó un refuerzo telefónico con cada instancia municipal aclarando dudas, recolectando información primaria y agradeciendo su colaboración. Cabe destacar que este proceso de contacto y difusión del estudio en las distintas Municipalidades permitió lograr una primera visión sobre el número de empresas presentes en los centros urbanos de las comunas y también detectar comunas con baja o nula presencia de empresas.
- Los encuestadores que efectivamente participaron del trabajo en terreno se listan en la tabla siguiente. A este listado se debe agregar los investigadores principales y el coordinador de campo dado que también participaron ubicando empresas.

Nombre	Profesión	Lugar origen	Teléfono de contacto	Correo electrónico
<b>Rodrigo Bizarro</b>	Trabajador Social	Temuco	61641872	<a href="mailto:rodrigobizarro@gmail.com">rodrigobizarro@gmail.com</a>
<b>María L. Rodríguez</b>	Asistente de párvulos.	Temuco	76062844	<a href="mailto:dalai.dali@gmail.com">dalai.dali@gmail.com</a>
<b>Omar Cortez</b>	Lic.en Pedagogía General Básica	Pucón	66953156	<a href="mailto:cortezomar@hotmail.com">cortezomar@hotmail.com</a>
<b>Valeska Huenuman</b>	Estudiante Lab. Dental	Temuco	86923702	<a href="mailto:valeskahuenuman@gmail.com">valeskahuenuman@gmail.com</a>
<b>Pablo Torrens</b>	Psicólogo	Angol	82333899	<a href="mailto:pablotorrensh@gmail.com">pablotorrensh@gmail.com</a>
<b>Marcia Montecinos</b>	Dueña de casa	Carahue	88465092	<a href="mailto:mar-and@hotmail.cl">mar-and@hotmail.cl</a>



<b>Marcelo Calderón</b>	Técnico Adm. Empresa	en de	Vilcun	6840279 3 --- 6175240 6	<a href="mailto:mcalderonvill@gmail.com">mcalderonvill@gmail.co m</a>
-----------------------------	----------------------------	----------	--------	----------------------------------	---------------------------------------------------------------------------

La distribución de territorios según encuestadores se presenta en la tabla siguiente.

<b>TERRITORIOS</b>	<b>ENCUESTADOR</b>
<b>Temuco (Marmolerías)</b>	Rodrigo Bizarro
<b>Temuco (Vidriería), Padre las Casas (vidriería)</b>	María Lidia Rodríguez
<b>Pucón, Curarrehue, Villarrica</b>	Omar Cortez
<b>Temuco (Lab. dentales), Padre las Casas (Lab. dentales)</b>	Valeska Huenuman
<b>Angol, Collipulli, Renaico, Los Sauces</b>	Pablo Torrens
<b>Carahue, Saavedra, Imperial</b>	Marcia Montecinos
<b>Vilcún, San Patricio, Cherquenco.</b>	Marcelo Caleron
<b>Chol Chol, Galvarino, Lonquimay, Curacautín, Traiguén, Lumaco, Purén</b>	Patricio Burgos
<b>Toltén, Teodoro Schmidt, Loncoche, Pitrufquén, Feire</b>	Juan José Orellana

Observaciones:

- Si bien se esperaba tener por lo menos un encuestador por comuna, el número final fue muy inferior, al encontrar comunas y centros urbanos con muy pocas empresas, lo que desmotivó la participación de encuestadores que conocían más o menos la realidad de su territorio.
- En general se evidenció las bondades del método de bola de nieve en la identificación de empresas informales o sin permiso sanitario de funcionamiento (la mayoría de los laboratorios dentales). Sin embargo, también hubo comunas donde el método funcionó en forma regular debido principalmente a la extensión del territorio y al desconocimiento de parte del encuestador.
- Dentro de las principales dificultades detectadas por los encuestadores en el levantamiento de los datos están:
  1. Negativa a contestar la encuesta aduciendo que hay “muchas encuestas” en Chile y “no se hace nada”, se requiere el dueño de la empresa que dé la autorización, se prevé complicaciones tras el estudio. “Quién hará algo si las cosas salen mal”.
  2. Las personas se encontraban trabajando fuera de su taller en el momento de la encuesta. En el caso de los laboratorios

dentales, un número importante se encontraba de vacaciones y sus talleres estaban cerrados, en otras oportunidades las direcciones estaban obsoletas. En las vidrierías, hubo casos que el dueño se encontraban en terreno instalando ventas y el encuestador y debían volver más de una vez para realizar la encuesta.

3. Un número importante de empresas identificadas como vidrierías no aplicaban con los requerimientos del estudio, ya que eran ferreterías que vendían vidrios y solo cortaban con diamante y no pulían bordes. Esto se dio principalmente en centros urbanos de menor tamaño, concentrando las verdaderas vidrierías en los principales centros urbanos de la región.

La tabla siguiente presenta la distribución del número de empresas halladas según encuestador.

<b>Encuestador</b>	<b>Número de Encuestas</b>	<b>Efectivas</b>
<b>Rodrigo Bizarro</b>	10	8
<b>María Lidia Rodríguez</b>	44	39
<b>Omar Cortez</b>	17	17
<b>Valeska Huenuman</b>	9	8
<b>Pablo Torrens</b>	42	42
<b>Marcia Montecinos</b>	20	20
<b>Marcelo Calderón</b>	0	0
<b>Patricio Burgos</b>	20	20
<b>Juan Jose Orellana</b>	13	13
<b>Ximena Ossa</b>	46	46
<b>Otros aportes*</b>	62	62
<b>TOTAL</b>	<b>283</b>	<b>275</b>

\*Páginas Amarillas, datos de la Seremi de Salud.

Hubo dificultades en conseguir el dato de formalidad de las empresas, fue un punto sensible. 56 empresas no dieron el dato o rehusaron contestarlo (se asumió finalmente que eran informales). Otras que decían que eran formales, en realidad dan boletas por servicios generales (esto fue patente en el caso de los laboratorios dentales que no tenían el permiso sanitario de funcionamiento).

El marco muestral final, según rubro y condición de formalidad se presenta en la tabla siguiente.

<b>Encuestador</b>	<b>Número empresas formales</b>	<b>Número empresas informales</b>	<b>Total</b>
<b>Artesanía en piedra</b>	1	14	15
<b>Laboratorio dental</b>	35	47	82
<b>Marmolería</b>	11	37	48
<b>Mueblería/mármol</b>	7	11	18
<b>Vidriería</b>	65	47	112
<b>Total</b>	119	156	275

El contacto con las oficinas municipales aportó importante información de la realidad de cada comuna respecto de los rubros de interés. Así por ejemplo, permitió saber que en comunas como Chol Chol, Galvarino, Vilcún, Cherquenco, Los Sauces y Ercilla sería difícil encontrar empresas de los rubros de interés.

En este último punto, también quedó de manifiesto la variada realidad de las OMILs, UDELS y Departamento de Rentas y Partes de cada Municipio, en donde en algunos casos poseían conocimiento de empresas formales e informales de los rubros. En otros casos, quedó de manifiesto su desconocimiento, lo cual tuvo repercusiones directas en la identificación de empresas semilla para el método Bola de Nieve, afectando la eficacia del encuestador.

Creemos que se logró construir un marco muestral adecuado para la selección aleatoria de empresas para el estudio de exposición a sílice. Es posible que existan empresas no incluidas en el marco muestral, pero se estima que su número es reducido.

### Anexo 3. Instrumentos para la recolección de datos

1. <a href="#">Instrucciones generales personal de campo</a>	Contiene las instrucciones trabajo de terreno registro de datos y medición de exposición (7 páginas)
2. <a href="#">Cuestionario empresas no elegibles</a>	Contiene los campos para registrar los datos de las empresas y las razones de no elegibilidad.
3. <a href="#">Cuestionario 1 Rechazo participación estudio</a>	Contiene los campos para registrar los datos de las empresas y las razones de no participar.
4. <a href="#">Resumen informativo estudio</a>	Contiene información para entregar en las empresas en la primera visita.
5. <a href="#">Consentimientos informados</a>	Consentimiento informado del dueño de la empresa y del trabajador a medir
6. <a href="#">Lista de cotejo de materiales visita 1</a>	Lista de cotejo de materiales necesarios para la visita 1, estudio ergonómico.
7. <a href="#">Cuestionario 2 Antecedentes ergonómicos de la empresa</a>	Cuestionario 2 Antecedentes ergonómicos de la empresa. Incluye indicaciones para el llenado de campos.
8. <a href="#">Lista de cotejo de materiales visita 2 y 3</a>	Lista de cotejo de materiales visita 2 y 3 de medición del nivel de exposición a polvo y sílice respirable.
9. <a href="#">Cuestionario 3 Pauta de observación durante la medición</a>	Cuestionario 3 Pauta de observación durante la medición. Incluye indicaciones para el llenado de campos.
10. <a href="#">Base de datos</a>	Contiene todos los datos, excepto los que identifican a las empresas. La base de datos con el listado de todas las empresas del marco muestral, no puede ser compartida por el compromiso de confidencialidad.

### Anexo 4. Listado de informes de laboratorio.

<a href="#">Análisis 25feb15 PSR</a>	Contiene el informe de laboratorio con el resultado de la concentración de masa de polvo y sílice respirable de las primeras 56 muestras (2 testigos).
--------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<a href="#">Análisis 19may15 SM</a>	Contiene el informe de laboratorio con el resultado de contenido de sílice en material en 23 muestra de polvo sedimentado.
<a href="#">Análisis 19may15 PSR</a>	Contiene el informe de laboratorio con el resultado de la concentración de masa de polvo y sílice respirable de 16 muestras (1 testigo).
<a href="#">Análisis 01jun15 SM</a>	Contiene el informe de laboratorio con el resultado de contenido de sílice en material en 4 muestra de polvo sedimentado.
<a href="#">Análisis 01jun15 PSR</a>	Contiene el informe de laboratorio con el resultado de la concentración de masa de polvo y sílice respirable de 7 muestras (1 testigo).

## **Anexo 5. Material audiovisual.**

<a href="#">Foto 1 MS</a> <a href="#">Foto 2 MSJ</a>	Personas que participaron del trabajo de campo
<a href="#">Mueblería 1</a> <a href="#">Mueblería 2</a> <a href="#">Mueblería 3</a>	Fotos mueblerías Máquina que corta grandes trozos con agua.
<a href="#">Artesano en piedra</a>	Video que muestra el artesano en piedra trabajando. Frente a la herramienta hoy un cilindro de plástico y cartones que pretende ser un sistema de control de polvo.
<a href="#">Trabajo marmolería</a>	Video del trabajo en una de las marmolerías. Cortes pequeños y en seco de mármol Carrara. El dusttrak se ubicó a dos metros de la zona de trabajo.
<a href="#">Vidriería</a>	Video de un experimento para medir la concentración de polvo respirable por efecto del pulido de bordes de pequeños trozos de vidrio.

## Anexo 6. Condiciones de ventilación de los talleres

Las condiciones de ventilación de los talleres fueron evaluadas en función del flujo de aire por hora y del renuevo de aire en el taller, según las disposiciones de los artículos 32, 33 y 34 del DS594.

En cada periodo de tiempo evaluado, se midió el flujo pasivo promedio en a lo más dos puertas y dos ventanas. Así mismo se midió el flujo de aire para todos los extractores eléctricos existentes y en funcionamiento dentro del taller.

En cada sector evaluado se registró, el estado abierto y cerrado de las puertas y ventanas y su tiempo de duración (minutos), la dirección relativa del flujo (hacia dentro del taller, hacia fuera, sin flujo), velocidad del flujo (m/s) y superficie del sector del flujo (m<sup>2</sup>).

Se calculó el flujo de aire (m<sup>3</sup>/min) como el producto de la superficie donde pasa el dicho flujo, la velocidad del aire y 60 minutos. El dato de flujo se registró en 16 campos, uno para cada ventana y puerta en los estados abierta/cerrada y con flujos de entrada y salida. Las siglas para estos campos que registraron los datos, fueron **Fe/sPi/Vic/a** que representa el campo de **Flujo de entrada/salida** en la **Puerta/Ventana i-ésima** (i=1, 2) en el estado de **cerrada/abierta**.

Los flujos de entrada y salida de aire se calculan con las siguientes fórmulas

$$\mathbf{Fe} = \mathbf{FeP}_{1c} + \mathbf{FeP}_{1a} + \mathbf{FeP}_{2c} + \mathbf{FeP}_{2a} + \mathbf{FeV}_{1c} + \mathbf{FeV}_{1a} + \mathbf{FeV}_{2c} + \mathbf{FeV}_{2a}$$

$$\mathbf{Fs} = \mathbf{FsP}_{1c} + \mathbf{FsP}_{1a} + \mathbf{FsP}_{2c} + \mathbf{FsP}_{2a} + \mathbf{FsV}_{1c} + \mathbf{FsV}_{1a} + \mathbf{FsV}_{2c} + \mathbf{FsV}_{2a}$$

Ejemplo de significado de los códigos

**Fe** : **Flujo de entrada** sistema pasivo

**Fs** : **Flujo de salida** sistema pasivo

**FeP<sub>1c</sub>** : **Flujo de entrada Puerta 1 cerrada**

## FsV<sub>2a</sub> : Flujo de salida Ventana 2 abierta

Considerando la estabilidad de la presión atmosférica dentro del taller y la existencia de sectores, donde no se midió el flujo de aire; el flujo pasivo de renuevo de aire fue el valor máximo entre el total de flujo de salida y el total de flujo de entrada.

En presencia de extractores eléctricos (sistemas activos ventilación), se calculó el flujo de extracción en cada uno, multiplicando la velocidad (m/s) por la superficie (m<sup>2</sup>) y sumando dichos valores para obtener el flujo total de los extractores.

El flujo total de renuevo de aire del taller, dependió si la suma de los flujos totales de salida (pasivos más activos) son mayores que el total de los flujos de entrada; en cuyo caso el flujo total de renuevo de aire dentro del taller será el total de flujos de salida. En caso contrario, será el total de flujos de entrada.

El valor final del flujo de renuevo de aire se expresa en metros cúbicos por hora. El número de veces que se renueva el aire del taller por hora, se calculó dividiendo el valor de flujo anterior por el volumen del taller.