



Asbesto con talco
Servicio Geológico Colombiano
Fotografía: Alejandra Cardona, SGC

Asbesto

Humberto González

Citación: González, H. (2019). Asbesto. En: *Recursos minerales de Colombia*, vol. 1. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.

Los asbestos son silicatos de hierro, sodio, magnesio y calcio, con estructura cristalina, que se caracterizan por ser fibrosos, y forman parte del grupo de los anfíboles o de la serpentinita. Presentan una densidad relativa de aproximadamente 2.5 y un punto de fusión superior a 1000 °C.

El asbesto se clasifica en seis variedades mineralógicas: crisotilo (variedad de serpentina), crocidolita (variedad del anfíbol riebeckita), amosita (variedad del anfíbol grunerita), y los asbestos de los anfíboles antofilita, tremolita y actinolita, que no tienen nombres específicos.

El nombre *asbesto* proviene del latín *asbestos* y este del griego *ἄσβεστος* que significa “incombustible, inextinguible”. Entre las características físicas y químicas que reúne el asbesto se encuentran las siguientes: no combustible, resistencia al calor, estabilidad química, resistencia a la putrefacción y corrosión, baja conductividad eléctrica, alta elasticidad y resistencia a la tracción, capacidad específica de absorción y aislamiento.

Los tres tipos de asbesto que tradicionalmente han sido explotados comercialmente son la amosita (gris-marrón) y la crocidolita (azul), del grupo de los anfíboles, y el crisotilo (blanco), del grupo de la serpentina. Actualmente el uso industrial del asbesto se ha visto restringido, y se utiliza casi exclusivamente el crisotilo.

El crisotilo se conoce desde hace más de dos mil años. Inicialmente fue utilizado en tejidos destinados a la cremación, los pabilos de las lámparas de aceite y otros textiles. Pero fue solo en el siglo XIX que el crisotilo comenzó a extraerse en forma comercial en los Urales (Rusia), Italia y Canadá.

En 1984 se fundó el Instituto del Crisotilo (IA), organismo privado constituido por las empresas canadienses productoras de asbesto crisotilo, los sindicatos y el gobierno, preocupados por la situación mundial a la que se estaba enfrentando el crisotilo, en vista de que se estaba prohibiendo su uso y se buscaban sustitutos en varios países. Este Instituto se ha dedicado a promover la utilización segura del asbesto, en la variedad crisotilo, tanto en

Canadá como en el resto del mundo, para lo cual ha creado un espacio de investigación, capacitación y discusión en torno a este mineral.

Desde finales de la década de los ochenta, la empresa Minera Las Brisas, ubicada en el municipio de Campamento, Antioquia, ha explotado crisotilo de los tipos 4 y 6, asociado al complejo ultramáfico de Campamento, sobre la cordillera Central. En Colombia, la zona más propensa a ser explorada en búsqueda de asbesto es la franja serpentizada asociada con el sistema de fallas de Romeral, entre las cordilleras Central y Occidental.

1. Usos

Actualmente solo se fabrican y venden productos de asbesto de alta densidad, entre los que se encuentran los de la variedad crisotilo del grupo de la serpentina. En estos, las fibras crisotílicas están encapsuladas en una matriz de cemento o de resina que impide que se desprendan.

En 1988, un grupo de expertos convocados por el Programa Internacional de Seguridad Química (IPCS) recomendó prohibir el uso de asbesto en la fabricación de materiales de aislamiento friables, de baja densidad, y que pueden desmenuzarse con la presión de la mano, dado el riesgo que presenta para la salud de quienes los manejan.

El crisotilo es una fibra mineral que no se quema ni se pudre, resiste a la mayoría de los productos químicos, es flexible y tiene una gran resistencia a la tracción, por lo cual es considerado un componente esencial en productos livianos de cemento reforzado, materiales de fricción, sellos y guarniciones para altas temperaturas, entre otros.

Anteriormente se utilizaban tanto fibras de amosita y crocidolita, como de crisotilo. Se encontró que las fibras provenientes de los anfíboles no salen fácilmente de los pulmones, mientras que las fibras de crisotilo producen menos polvo y pueden ser eliminadas más fácilmente del cuerpo humano (Chrysotile Institute, 2015).

Las fibras de asbesto se clasifican, según su longitud, de mayor a menor, en fibras naturales o crudas (grupos 1 y 2) y fibras procesadas (grupos 3, 4, 5, 6 y 7). La longitud de estas fibras determina la aplicación industrial del asbesto y su valor. Las fibras crudas son seleccionadas manualmente y procesadas para producir hilos largos para uso en textiles y en la industria eléctrica. La fibra para este uso debe tener buena flexibilidad y poco contenido de sales solubles y de magnetita; debe ser suave, fácil de peinar, sin mayor pérdida de tamaños cortos; debe estar libre de madera y de productos como residuos de explosivos. Este tipo de fibra también puede ser usado como fieltro en láminas formadas con resinas, de uso en aviones y embarcaciones (González, 1995).

Las fibras procesadas pasan por métodos mecánicos de separación. Las del grupo 3 son más largas que las del grupo 7. Estas fibras no son hilables y son empleadas en la industria del papel, tuberías, placas, láminas, tejas, envolturas, paneles eléctricos y bandas para frenos, entre otros usos.

El principal uso del asbesto se da en la industria de la construcción: más del 90 % del crisotilo que se usa hoy en día en el mundo se encuentra en los materiales con fibrocemento, debido a que es un material de refuerzo liviano, con características aislantes y de muy buen comportamiento frente al fuego. Con él se hacen tubos, tejas, láminas (planas y corrugadas) y paneles, entre otros artículos. Para esta aplicación se emplean fibras de los grupos 4, 5 y 6.

Según Tobón (2004), las fibras de los grupos 1 y 2 son empleadas en la industria eléctrica en recubrimientos para aislar conductores eléctricos, por su resistencia al calor y al fuego, a la humedad y a la abrasión. Estas deben estar libres de magnetita, mineral que se forma en el proceso de alteración del olivino a serpentina y que comúnmente acompaña al asbesto, por lo cual se requiere un beneficio previo. En los yacimientos originados en dolomitas serpentinizadas, el asbesto está libre de magnetita.

Las fibras del grupo 3 se emplean como elemento anti-fuego y aislante térmico en la fabricación de textiles tales como guantes y ropa para bomberos, entre otros. También es utilizado en los sistemas de frenos y de embrague.

Adicionalmente, las fibras de los grupos 3 y 4 se emplean como empaques de sellamiento en conductores de gases calientes, que pueden ser reforzados con metal. Las fibras de los grupos 5, 6 y 7 se emplean en la industria del papel, a las que se les adicionan fibras vegetales o de vidrio. También se utilizan para el recubrimiento de tuberías, para protegerlas de la corrosión (oleoductos) y del ataque de ácidos y álcalis.

En la industria del plástico se emplean fibras de asbesto de los grupos 6 y 7 como refuerzo ideal, porque le proporciona al producto final alta resistencia mecánica, al calor y al fuego, por lo cual se reduce la contracción y el agrietamiento.

Las fibras del grupo 7 son empleadas como rellenos en la fabricación de grasas de lubricación, donde la fibra controla o retarda la disolución y la calidad de flujo de la grasa aun a altas temperaturas. Este grupo de fibras también es utilizado en la industria de la pintura para fabricar pinturas anticorrosivas destinadas a superficies esféricas y redondeadas, por su hábito fibroso y acicular, lo que mejora la adherencia y la distribución en la pieza. Además, ayuda a prevenir el agrietamiento.

2. Ambiente geológico

En este capítulo se describen las características generales del asbesto, tales como la mineralogía y composición, los tipos de depósitos a nivel mundial, así como los métodos de prospección, sistemas de explotación y procesamiento de minerales. Además, se hace un análisis de los recursos, reservas y comercio de este mineral a escala global.

2.1. Características

Los asbestos son silicatos de hierro, sodio, magnesio y calcio, con estructura cristalina, que se caracterizan por ser fibrosos. Pertenecen al grupo de los anfíboles o de la serpentina. Presentan una densidad relativa de aproximadamente 2.5 y un punto de fusión superior a 1000 °C. Son minerales resistentes al calor, a los álcalis (el crisotilo) y a los ácidos (sobre todo la amosita y la crocidolita). Las fibras de crisotilo son flexibles (por ello son utilizadas en la industria textil), mientras que las fibras de los anfíboles son más quebradizas. Son no combustibles e insolubles; presentan resistencia eléctrica y al desgaste, por lo que se consideran indestructibles (Abú-Shams y Pascal, 2005).

Se identifican seis variedades mineralógicas de asbestos: crisotilo (variedad de serpentina), crocidolita (variedad del anfíbol riebeckita y conocida como *asbesto azul*), amosita (variedad del anfíbol grunerita y conocido como *asbesto marrón*) y los asbestos de los anfíboles antofilita, tremolita y actinolita, que no tienen nombres específicos. En la tabla 1 se muestra la composición química de las diferentes variedades de asbesto.

Tabla 1. Composición química de los asbestos

Tipo	Fórmula	Composición	%
Crisotilo	$Mg_3[(OH)_4Si_2O_5]_2$	SiO ₂	37-44
		MgO	39-44
		FeO	0-6
		Fe ₂ O ₃	0.1-5
		Al ₂ O ₃	0.2-1.5
		H ₂ O	12-15
		CaO	Tr-5
		Na ₂ O	-
Crocidolita	$Na_2Fe_5[(OH)Si_4O_{11}]_2$	SiO ₂	49-53
		MgO	0-3
		FeO	13-20
		Fe ₂ O ₃	17-20
		Al ₂ O ₃	—
		H ₂ O	2.5-4.5
		CaO	—
		Na ₂ O	4.0-6.5
Amosita	$MgFe_6[(OH)Si_4O_{11}]_2$	SiO ₂	49-53
		MgO	1-7
		FeO	34-44
		Fe ₂ O ₃	—
		Al ₂ O ₃	2-9
		H ₂ O	2-5
		CaO	—
		Na ₂ O	—
Antofilita	$(Mg, Fe)_7[(OH)Si_4O_{11}]_2$	CaO+Na ₂ O	0.5-2.5
		SiO ₂	56-58
		MgO	28-34
		FeO	3-12
		Fe ₂ O ₃	—
		Al ₂ O ₃	0.5-1.5
		H ₂ O	1-6
		CaO	—
Tremolita	$Ca_2(Mg, Fe)_5[(OH)Si_4O_{11}]_2$	Na ₂ O	—
		CaO+Na ₂ O	—
		SiO ₂	53-62
		MgO	0-30
		FeO	1.5-5
		Fe ₂ O ₃	—
		Al ₂ O ₃	1-4
		H ₂ O	0-5
Actinolita	$Ca_2(Mg, Fe)_5[(OH)Si_4O_{11}]_2$	CaO	0-18
		Na ₂ O	0-9
		CaO+Na ₂ O	—

Fuente: Virta y Mann (1994)

La longitud de la fibra determina en gran parte la aplicación y el valor del asbesto. Las fibras largas dan hilos fuertes; las fibras cortas no pueden hilarse y se emplean especialmente en aislantes y productos de asbesto-cemento. La fibra se clasifica según su longitud, y su calidad varía desde suave y sedosa hasta áspera, de altamente flexible a frágil, y de resistente a débil (González, 1987).

Las fibras de asbesto se pueden presentar en tres formas: fibra cruzada (o *cross fiber*), fibra deslizada (o *slip fiber*) y fibra en masa (*mass fiber*). La fibra atravesada es la forma más común de presentarse. Estas fibras están apretadas unas contra otras, perpendiculares a las paredes de las rocas. Esta disposición es común en serpentina, donde la fibra se encuentra rellenando planos de debilidad, tales como fallas y planos de clivaje en forma de series ramificadas (*stockwork*) a gran escala. La orientación de las fibras puede variar entre normal e inclinada respecto a las paredes de la vena, y se identifican como *fibras oblicuas*. Este tipo de fibra, muestra debilidad en el punto donde se dobla.

La fibra desplazada es paralela u horizontal a las paredes de la roca; por eso, se encuentra entretejida entre las paredes. Normalmente se encuentran en fracturas, grietas y desplazamientos, en formaciones de crisotilo y antofilita, y a veces están asociadas a mineralizaciones de fibras atravesadas en forma de *stockwork*, en depósitos compactos de serpentina.

La fibra en masa está normalmente mezclada en la matriz que forma el cuerpo mineral. No existe ninguna forma de orientación de las masas de la fibra, con excepción de una posible estructura estelar radial. La fibra en masa consiste, bien sea en un reemplazamiento completo de la mayoría de los minerales originales por fibra, o en una red densa de finas venas de reemplazamiento. Ambas variedades dan como resultado un alto contenido de fibra corta (González, 1987).

Como el valor comercial del asbesto depende de la longitud de la fibra, es importante realizar una buena clasificación de esta. Para realizar la clasificación de la fibra existen los siguientes métodos: ensayo Bauer, ensayo húmedo, ensayo de área superficial y ensayo Quebec Estándar, que es el método más universalmente conocido (Ruiz, 2006).

2.2. Tipo de depósito

El 98 % de la producción mundial de asbesto corresponde al crisotilo, y de este, la mayoría proviene de depósitos de rocas ultrabásicas como roca encajante (Keith y Bain, 1932; Berger, 1963). El resto de la producción de crisotilo

proviene de calizas dolomíticas serpentinizadas, cuya característica principal es la ausencia de magnetita, impureza comúnmente encontrada en los depósitos asociados con rocas ultrabásicas.

La amosita y la crocidolita provienen de formaciones sedimentarias ferruginosas que han sufrido metamorfismo. Estas dos variedades constituyen el 2 % restante de la producción mundial de asbesto. La tremolita y la antofilita se encuentran asociadas a rocas ultrabásicas muy metamorfozadas.

La mayor parte de la producción mundial del crisotilo proviene de Rusia, Brasil, Kazajistán, Canadá y Zimbabue (USGS, 2006).

Tectónicamente, los depósitos de crisotilo están asociados con acreciones oceánicas, por lo común como parte de secuencias ofiolíticas o dentro de rocas ultramáficas. También se encuentran en intrusiones sinvolcánicas ultramáficas de afinidad komatiítica en cinturones verdes del Arcaico (Hora, 1997). La deformación, bien sea por fallamiento, plegamiento o zonas de cizalladura, juega un papel importante en la localización de depósitos de asbesto (Cooke, 1937).

La edad de los depósitos de asbesto varía ampliamente, desde el Precámbrico más temprano, en Zimbabue y Suazilandia, hasta el Jurásico Superior en California. Los depósitos de Ontario, Ungava y Brasil son de edad Precámbrico, mientras que los de *Eastern Townships*, Vermont y Terranova se asignan al Paleozoico Medio, y se asocian con el plegamiento temprano en la cadena montañosa de los Alpes. Los depósitos de Canadá occidental están relacionados con la orogenia del Paleozoico Superior, mientras que los depósitos rusos tienen edades entre el Paleozoico Temprano y el Paleozoico Superior hasta el Triásico.

2.3. Métodos de prospección

En la prospección minera, la analogía constituye un principio valioso e indispensable. Se deben buscar las zonas donde ya se ha encontrado mineral y aquellas otras cuyas características geológicas son semejantes a las de las regiones productoras ya conocidas. Si los asbestos de crisotilo están asociados con rocas ultrabásicas serpentinizadas, debemos buscar estos cuerpos (González, 1995).

El principio de analogía facilita considerablemente la prospección en búsqueda de asbestos, lo cual es necesario, ya que los yacimientos son estructuras relativamente pequeñas y escasas. El estudio de la interrelación, tanto en espacio como en tiempo, de las diferentes rocas, de su historia geológica y el de las mineralizaciones, puede res-

tringir aún más el campo de la prospección. Sin embargo, el campo puede ser aún demasiado grande para que las labores de exploración, excavación y perforaciones sean prácticas y económicas, y por lo tanto son necesarias nuevas restricciones. Es aquí que debe emplearse la geofísica, ya que las rocas ultrabásicas difieren considerablemente en sus propiedades físicas, susceptibilidad magnética, resistividad y densidad, de las rocas que las rodean. El estudio geofísico, mediante una cuidadosa interpretación de los resultados, elimina en el interior de estos mismos cuerpos extensas áreas donde hay pocas probabilidades de encontrar concentraciones económicas de asbestos.

Los métodos en general incluyen, al igual que en otros minerales, cuatro etapas: reconocimiento, prospección, exploración general y exploración detallada (UN, 2001).

Los levantamientos geológicos regionales son el primer paso para definir las posibles zonas que contengan asbestos. Levantamientos aeromagnéticos son de gran utilidad para definir y localizar masas de serpentinita. Estos levantamientos, con un control geológico de campo adecuado y levantamientos magnetométricos, pueden usarse para definir zonas de características geológicas de posible interés económico.

Entre los estudios geofísicos se encuentran la aeromagnetometría y magnetometría, utilizadas para localizar los cuerpos ultrabásicos y definir depósitos potenciales de asbesto. La aeromagneometría se emplea en las primeras fases de la exploración para localizar dichos cuerpos en un área extensa. La magnetometría se utiliza solo para definir depósitos de asbesto asociados con rocas ultrabásicas, debido a su asociación con magnetita secundaria, que se forma durante la serpentización. Muchos de estos depósitos contienen más magnetita que serpentinita como tal. Adicionalmente, grandes zonas de cizalladura y cuerpos de dunitas serpentinizadas también indican anomalías magnéticas.

Con solo datos geofísicos no puede decirse si los cuerpos anómalos realmente corresponden a un yacimiento. No obstante, la combinación de estos datos con los datos geológicos e información adicional de cualquier otro tipo delimitan áreas de mayor probabilidad de concentración del mineral, en las cuales se llevarán a cabo las últimas pruebas de exploración, tales como trincheras y perforaciones con broca de diamante.

La combinación de todos los datos obtenidos durante la exploración proporciona la información final para la estimación de tonelaje, tipo de depósito, programas de explotación y valor del posible yacimiento, así como para tomar decisiones sobre su explotación.

Por lo tanto, los pasos generales que deben seguirse en la prospección de asbestos asociados con cuerpos de rocas ultramáficas serpentinizadas son los siguientes:

1. Análisis regional de zonas de posible interés basado en los mapas geológicos regionales.
2. Levantamientos aeromagnéticos en zonas definidas en la etapa anterior.
3. Análisis de los datos aeromagnéticos obtenidos y delimitación de zonas de interés.
4. Levantamientos geológicos de campo y levantamientos magnetométricos en zonas definidas en la etapa anterior.
5. Trincheras, perforaciones en zonas de interés definidas en el proceso anterior.
6. Análisis de toda la información obtenida para definir el potencial y la factibilidad de explotación de los asbestos.

2.4. Sistemas de explotación y procesamiento de minerales

El desarrollo de la minería de asbestos ha estado controlado por la innovación de equipos y métodos de minería. Métodos manuales simples fueron empleados en labores poco profundas a cielo abierto. Hubo una época, cuando los patios de las labores a cielo abierto eran muy profundos, en las que se usaban grúas suspendidas de cables aéreos. Hoy en día, en minas a cielo abierto, el uso de potentes palas que cargan el mineral directamente en camiones de trabajo pesado ha desplazado todos los otros sistemas de carga y transporte.

En el pasado se emplearon métodos de explotación subterránea, como el de derrumbe y extracción por subniveles, la excavación de bloques y el método de los *glory holes*. En algunos casos, arrancadores y elevadores conducen el material fragmentado desde los sitios de arranque hasta superficie, y en otros este pasa directamente por grandes cribas. Esta tendencia se ha invertido, y actualmente predominan métodos de explotación a cielo abierto.

Se considera, en general, que los métodos de minería de superficie son más ventajosos en cuanto a la recuperación, el control de calidad, la economía y seguridad. El cambio a esta tendencia se dio principalmente debido a innovaciones en el equipo de minería: palas cuya capacidad varía entre 1.91 m³ y 11.47 m³; camiones con capacidad de carga de 25 a 200 toneladas; los equipos de perforación se han mejorado notablemente, y se han introducido nuevas técnicas y agentes para voladuras. Estas innovaciones permitieron incrementar la relación de estéril a mineral de

3:1 y más, con lo cual se prolonga la vida económica de las labores a cielo abierto.

En África, gran parte del crisotilo se explota por minería subterránea. Los cuerpos de mineral son por lo general de forma tabular, con un buzamiento fuerte, con el resultado de que el límite económico para su explotación a cielo abierto se alcanza en las primeras etapas de producción. El espesor del mineral en las minas más grandes varía entre 20 y 60 m, con un máximo de 120 m. Algunos cuerpos mineralizados, especialmente en el distrito Shabani y de Zimbabwe, son muy extensos en longitud: alcanzan una extensión hasta de 5 km y una profundidad de 300 m. Para ellos se han empleado diversos métodos de explotación subterránea, que incluye el de cortes y llenos. Hoy en día, el método de excavación y extracción por subniveles es el responsable de la mayor parte del tonelaje extraído (Virta y Mann, 1994).

Dicho método consiste en iniciar la excavación con voladuras realizadas hacia arriba desde los niveles inferiores, y el desarrollo y retroceso se efectúa a lo largo del rumbo. En algunos casos, altas presiones han desarrollado un efecto de arco, que se disipa al explotar una franja vertical que puede extenderse hasta la superficie y hacia donde el material ha colapsado. En el método de extracción por subniveles se puede abrir un canal a través del centro del cuerpo de mineral; las perforaciones que se desprenden de los túneles se vuelven hacia el canal, y la minería avanza retrocediendo en dos direcciones, alejándose de las aberturas realizadas.

En África, gran parte de la amosita y de la crocidolita han sido extraídas de excavaciones pequeñas y estrechas a cielo abierto, o de túneles pequeños casi horizontales que siguen la franja portadora de mineral. En la zona de Penge las operaciones se han desarrollado a mayor escala y profundidad. La principal formación de hierro productora tiene un espesor muy constante, de cerca de 1.4 m, con un buzamiento de unos 20°. Un frente avanza a lo largo del rumbo perforado en círculos o secciones de 1.8 m con martillos neumáticos. El material fragmentado se retira con palas hacia atrás, y se dejan remanentes en forma de pilares temporales para soportar el techo. El material restante se carga a mano en unos pequeños carros, se eleva a un transportador horizontal y se lleva a una planta de clasificación para separar el material de desecho. Luego es enviado a la planta de trituración y a la planta de beneficio.

Anteriormente la porción portadora de fibra se escogía a mano bajo tierra; de esta manera se perdían grandes cantidades que se quedaban en los pilares. Las fracturas de la formación de hierro proporcionan bloques rectangulares que favorecen la construcción de los pilares. La banda por-

tadora de asbesto contiene hasta un 30 % de fibra, de modo que la relación estéril a mineral funciona bien para el sistema de explotación empleado (Virta y Mann, 1994).

El proceso de beneficio es diseñado de acuerdo con las características de cada cuerpo. La fibra se obtiene mediante el proceso en seco, que ha sido empleado casi exclusivamente desde que se empezó a beneficiar el asbesto en Canadá, hace unos noventa años. Sin embargo, en algunos casos se ha realizado beneficio en húmedo de alguna cantidad de fibra.

En los últimos años se han presentado algunos cambios en el proceso básico. Las principales mejoras se han desarrollado en los procesos de manejo del material, empaque y métodos de transporte. Los métodos mejorados desarrollados por la industria minera del asbesto han hecho posible, tanto para el productor como para el cliente, almacenar, transportar, recibir y usar la fibra en un ambiente relativamente libre del polvo.

Las etapas del proceso de beneficio de fibras procesadas consisten en trituración y transporte, secado, procesamiento de roca y procesamiento de la fibra. En la etapa de trituración y transporte, el material sufre una disminución en su tamaño antes de ingresar a la planta de beneficio. La etapa de secado consiste en extraer la humedad contenida en el mineral mediante el intercambio de calor que se presenta entre el aire caliente que viene de la cámara de combustión y el mineral que es alimentado al secador después de la trituración secundaria. Este proceso se inicia cuando se realiza la combustión dentro de una cámara sellada; simultáneamente se hace pasar el aire que se desea calentar, mediante un tiro inducido por un ventilador. Dicho aire es conducido mediante una tubería con cuatro conectores al secador, que es una cámara vibratoria a través de la cual pasa el mineral. Dentro de la cámara vibratoria se efectúa la transferencia de calor por conducción, y el mineral pierde su humedad.

La etapa de procesamiento de la roca se inicia desde la banda alimentadora, que recibe el material fino que viene del secador y el material grueso que viene por la banda paralela. El material alimentado por dicha banda es transportado hacia los elevadores, cribas y molinos con el fin de separar la fibra de la roca e iniciar un proceso de clasificación de la fibra larga y corta. En la zona de purificación de la fibra se usan tamices, zarandas, separadores de gravedad específica por aire y variaciones de estos, como clasificadores que limpian y separan la fibra en las longitudes correspondientes a calidades estándar.

Durante la fase de explotación y beneficio, si se usan medidas básicas de control, buenos métodos de limpieza y

prácticas laborales, se pueden lograr niveles de exposición inferiores a 1 fibra/ml. Estas medidas incluyen lo siguiente:

- Control en la fuente: el polvo debe controlarse lo más cerca posible de la fuente, lo cual aumenta la eficacia del proceso, reduce los costos e impide la dispersión del polvo en áreas adyacentes.
- Control técnico: esto se logra con la utilización de equipos como campanas para polvo, tubería, recolectores de polvo y aire de reemplazo. La ventilación industrial se recomienda para operaciones de desembolsado, mezclado, pesada, corte y molienda, entre otras. Para controlar el polvo de asbesto que queda en el aire se emplea una cámara de filtración; el algodón es el material más eficaz para fabricar los filtros de dicha cámara. El aire limpio pasa luego a través de un ventilador de succión y se arroja al exterior.

Las prácticas laborales necesarias en la planta de procesamiento incluyen humectación donde pueda aplicarse este proceso, la limpieza de cualquier desecho generado durante la fabricación, aspiración o remoción por humectación de las astillas y piezas pequeñas que estén dispersas en la fábrica, no barrer en seco y usar aire comprimido para fines de limpieza. Con respecto a la limpieza, debe realizarse por medios húmedos, los cuales evitan que se generen altos niveles de polvo. Es posible que se requiera ocasionalmente el uso de respiradores y ropa especial.

En algunos casos, en la aplicación de asbesto para materiales de fricción o productos de cemento, estos pueden ser cortados antes del curado, lo cual genera altos volúmenes de polvo. Si los productos de alta densidad se cortan con sierra, se deben emplear campanas y sistemas de ventilación por aspiración. Es posible utilizar agua para suprimir el polvo dirigiendo un chorro o agua pulverizada hacia la hoja de la sierra o de la herramienta de perforación o corte. En cuanto al almacenamiento, la mayor parte de la producción se empaca a presión en sacos tejidos y polilaminados de 50 kg, tanto para el uso doméstico como para exportación. También se suministra fibra empacada en papel Kraft soluble en agua.

2.5. Recursos, reservas y comercio

Los datos sobre reservas de asbesto en el mundo no son muy conocidos; por lo tanto, no se puede hacer una estimación precisa de la cantidad de mineral. Sin embargo, el tamaño de estas es considerable y puede suplir por muchos años la producción actual.

En la tabla 2 se observa el comportamiento de la producción mundial por países en el periodo 1996-2016, en el cual ha tenido un valor constante de 2 000 000 de toneladas métricas. En la figura 1 se observan los principales países productores de asbesto durante el año 2016.

En los últimos veinte años la producción ha presentado un comportamiento levemente decreciente. El prin-

cipal productor a escala mundial de asbesto en el año 2016 fue el continente asiático, representado por Rusia con un 54 %, China con un 19 % y Kazajistán con un 10 %, que sumaron el 83 % de la producción total; estuvieron seguidos por Brasil, con un 2 %, como se observa en la figura 2.

Tabla 2. Producción mundial de asbesto en el periodo 1996-2016 (en toneladas métricas)

País	1996	2001	2006	2011	2016
Brasil	190 000	170 000	236 000	270 000	300 000
Canadá	511 000	340 000	240 000	100 000	
China	240 000	260 000	400 000	400 000	400 000
Kazajistán	250 000	125 000	350 000	210 000	200 000
Rusia	800 000	750 000	925 000	1 000 000	1 100 000
Sudáfrica	95 000	19 000			
Zimbabue	150 000	115 000	110 000		
Otros	155 000	92 000	80 000	20 000	50 000
Total	2 391 000	1 871 000	2 341 000	2 000 000	2 050 000

Fuente: USGS (2017)

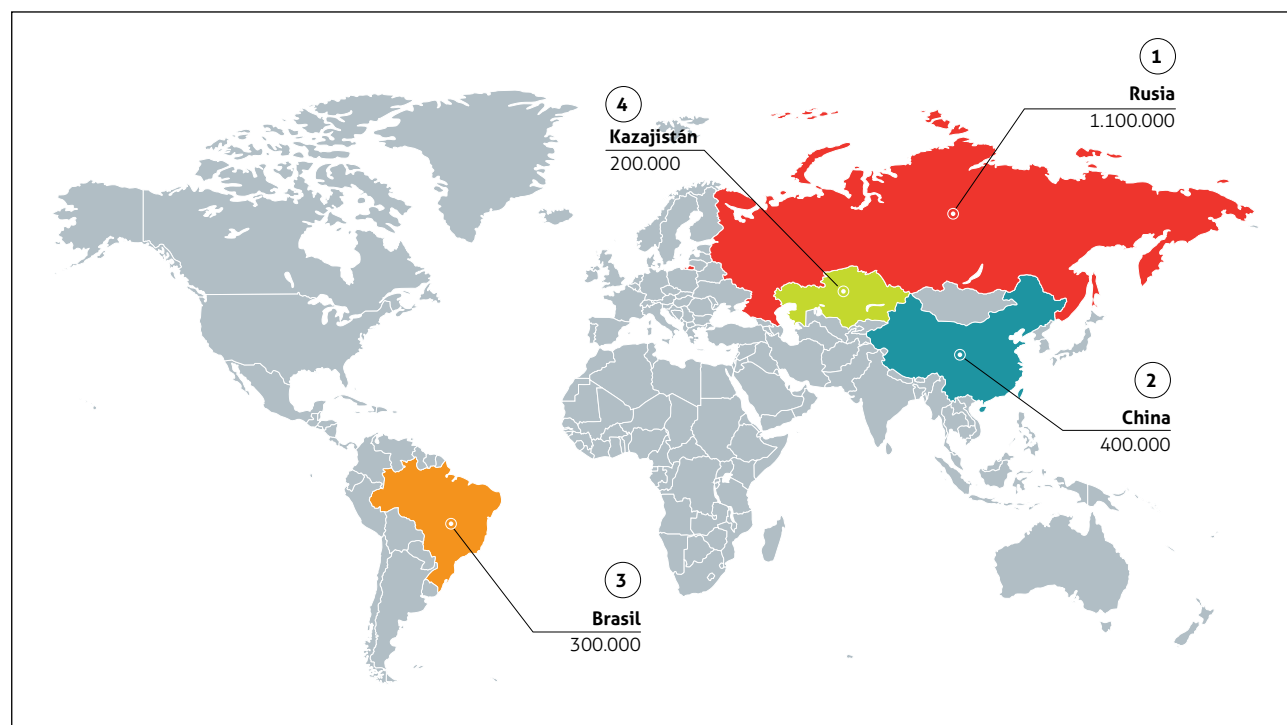


Figura 1. Países productores de asbesto en 2016

Fuente: USGS (2017)

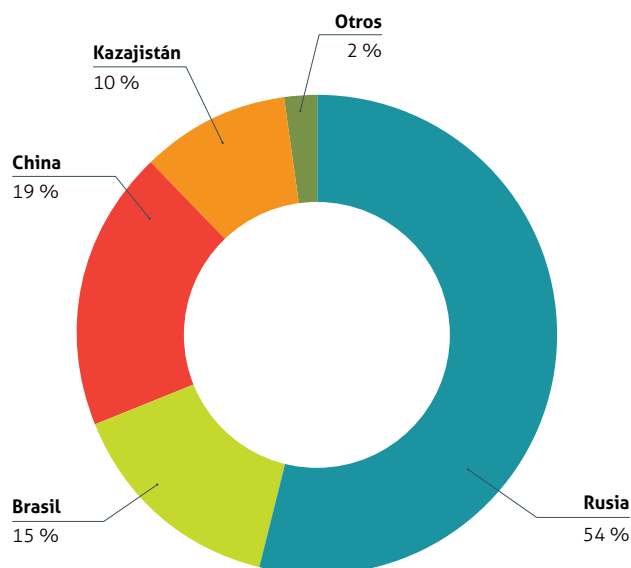


Figura 2. Participación en la producción mundial de asbesto en el periodo 1996-2016

Fuente USGS (2017)

El consumo de asbesto en Estados Unidos presenta un comportamiento decreciente desde 1990, cuando había un consumo de 40 000 toneladas métricas, que ha disminuido año tras año hasta quedar en 340 toneladas métricas en el año 2016. Esto se ha debido a los efectos nocivos de dicho material para la salud y a los múltiples sustitutos que se han hallado. Globalmente, el mayor uso del asbesto sigue encontrándose en la industria del cemento.

El precio del asbesto varía según el tipo de fibra: cruda o procesada. La fibra cruda presentó su mayor valor que la procesada en 2015, cuando llegó a USD 1780/t, mientras que la fibra procesada grado 3 logró un valor de USD 1360/t; la de grado 4 se cotizó en USD 1960/t.

2.6. Perspectivas

Desde el año 2002 se observa una tendencia a la baja en la producción de Estados Unidos, que se mantiene actualmente y probablemente continuará por un par de años más. Este decaimiento se debe a la legislación actual sobre el uso seguro del asbesto (Virta, 2006).

3. Asbesto en Colombia

En Colombia se conocen varias manifestaciones de asbesto. La ocurrencia del crisotilo asociado con rocas ultramáficas serpentinizadas hace que solo las regiones del país donde se encuentran estas rocas sean aptas para adelantar allí su búsqueda. En nuestro país, los cuerpos conocidos de serpentinita se encuentran, en su mayor parte, asociados a la zona de falla de Romeral, entre las cordilleras Central y Occidental. Varias de las manifestaciones registradas en Colombia corresponden a antigorita fibrosa y picrolita, desarrolladas a lo largo de planos de cizalladura en cuerpos de serpentinita, pero carecen de valor económico.

El yacimiento de Las Brisas se encuentra localizado en el municipio de Campamento (Antioquia), a 30 km de la troncal del Norte y a 135 km de Medellín. Su conocimiento se remonta a 1948, cuando este depósito fue registrado en el Inventario Nacional Minero. A partir de ese año, diferentes entidades privadas han hecho continuos estudios de exploración, hasta que a finales del año 1980 se inició la producción.

3.1. Geología regional

En Colombia, el ambiente geológico donde se encuentran complejos ofiolíticos es una amplia franja localizada en el occidente del país, en la cordillera Occidental, y en el límite entre esta y la cordillera Central. Este conjunto de rocas máficas y ultramáficas está ubicado en el denominado sistema de fallas Cauca-Romeral (figura 3), que presenta un estilo estructural de fallamiento imbricado y de convergencia variable, dentro del cual hay una secuencia de estratigrafía incierta y fragmentos de corteza siálica y simática, de edades variables desde el Paleozoico hasta el Cretáceo (Ortiz, 2004). Las provincias litosféricas sobre las que se encuentran son, de occidente a oriente, por una parte, la Provincia Litosférica Oceánica Cretácica Occidental (PLOCO), que presenta composición simática y edad Cretácica, y por otra, la Provincia Litosférica Oceánica Nesoproterozoica Arquía (PLONA) y la Provincia Litosférica Continental Mesoproterozoica Grenvilliana (PLCMG); estas dos últimas presentan una composición siálica y edad Precámbrica (Gómez *et al.*, 2006).

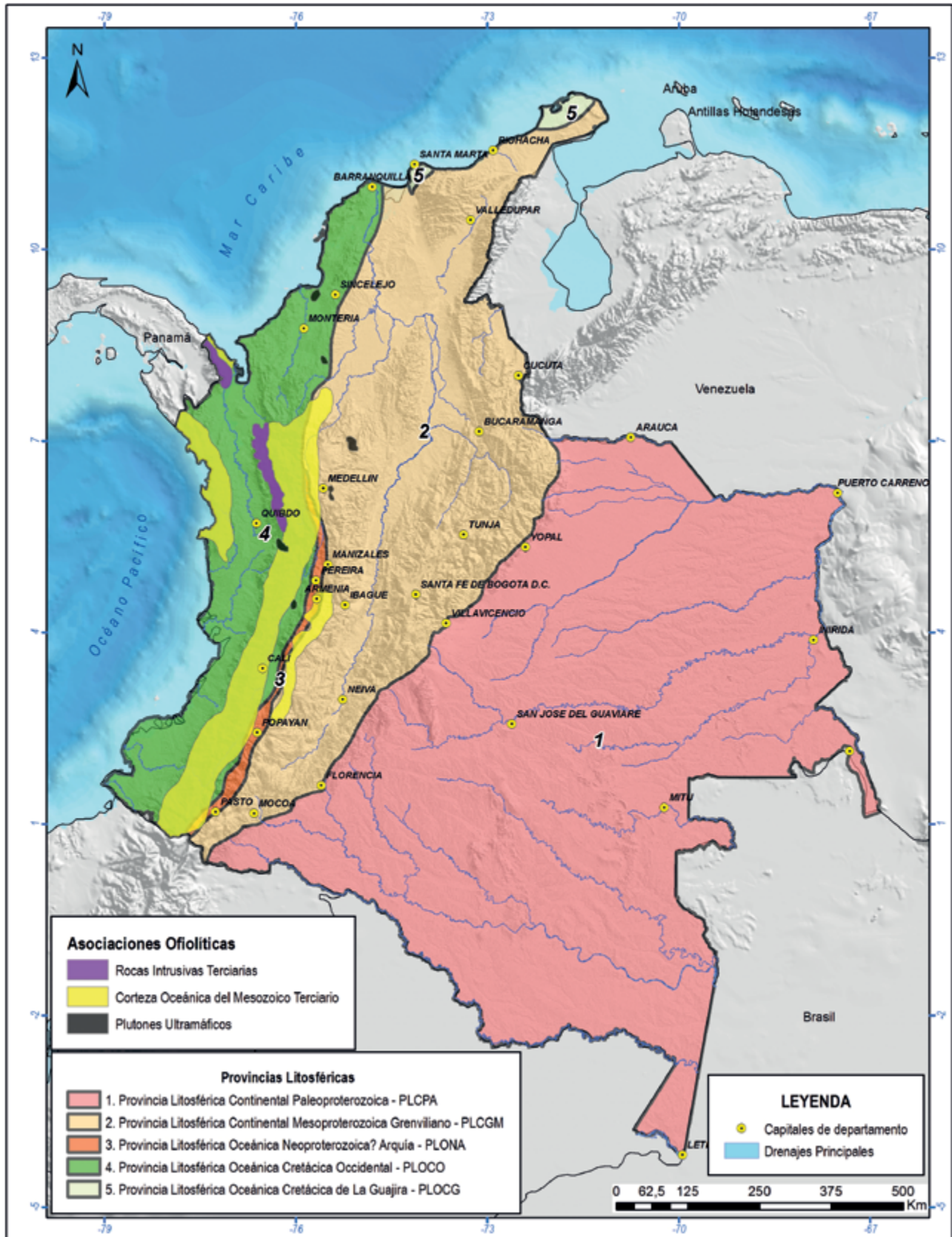


Figura 3. Sistema de fallas Cauca-Romeral con ofiolitas asociadas

Fuente: (Ortiz, 2004)

Es posible describir esta franja como una provincia tectónica específica. En los mapas de Terrenos Geológicos de Colombia es denominada como *terreno Cauca-Romeral*, y en él se mezclan estructuralmente varias litologías, que incluyen desde basaltos toleíticos, a veces con estructura en almohadilla, diabasas y sedimentos marinos, gabros, peridotitas y anfibolitas, hasta esquistos muy variados, a menudo cubiertos por rocas sedimentarias terciarias. También hay en esta franja plutones calcoalcalinos e intrusivos subvolcánicos (Ortiz, 2004).

Según Barrero (1974, en Ortiz, 2004), la zona de falla Cauca-Romeral es el sitio de convergencia de la corteza oceánica y la corteza continental. El sistema de Romeral se puede igualmente considerar como una provincia metalogénica en la que existen o pueden existir varios tipos de mineralización.

3.2. Geología local

Los asbestos se encuentran relacionados con ultramafitas serpentinizadas, el depósito es de tipo masivo formado por venitas de crisotilo de fibra cruzada de 1 a 20 mm de ancho, encajadas en una masa de serpentinita fuertemente cizallada (González, 2001).

La fibra recuperada corresponde a los grados de más alto valor:

La Zona R es el bloque mejor estudiado y en él se encuentra la mayor parte de las reservas probadas de fibra. En la Zona F la fibra es más espesa, difícil de separar, de color verdoso en lugar del blanco característico del crisotilo y está asociada con concentraciones de magnetita, que en algunos lugares reemplaza parcial o totalmente la fibra. Además, la roca ultrabásica encajante del crisotilo es de color más oscuro, de grano más fino, y muestra un menor grado de serpentización (Harris, 1973, en González, 1987).

En la Zona G, la fibra por lo general es del tipo cinta, y en algunos lugares se encuentran grandes concentraciones de la fibra, a veces asociada con magnetita; esta zona no ha sido explorada en su totalidad. La otra zona, denominada O, que tampoco lo ha sido, contiene fibras de alta resistencia, apropiada para la industria de asbesto-cemento, que se separa fácilmente de la serpentinita encajante.

En la Zona R existe un área de alteración hidrotermal de características geológicas relevantes. Se encuentra en el tope del cuerpo principal de mena, y no hay duda de que existe una relación directa entre esta fuerte alteración hidrotermal y la presencia de un cuerpo rico en crisotilo por debajo, y pobre por encima (Harris, 1973). El talco es el principal mineral hidrotermal en esta zona, pero oca-

sionalmente hay áreas de cuarzo de varios metros de espesor, y algunas veces la serpentinita ha sido transformada en una roca blanca en la que aún se observan restos de la estructura original. Por lo general, las zonas de mayor alteración hidrotermal coinciden con bajos topográficos (Harris, 1973, en González, 1987).

3.3. Situación actual de la minería

Actualmente, en Colombia solo se desarrolla minería de asbesto en el municipio de Campamento (Antioquia), y la empresa que se encarga de ello es la Minera Las Brisas S. A.

3.3.1. Potencial

En Colombia existen ambientes favorables para el desarrollo de depósitos de asbestos en los complejos ofiolíticos en una amplia faja localizada en el occidente del país, en la cordillera Occidental y en el límite entre esta y la cordillera Central.

Las Brisas es el único depósito económicamente explotable que se ha encontrado en la cordillera Central. Está localizado a 135 km de Medellín y fue explorado primero por la Compañía Canadiense Johns-Marville Co. Ltd., entre 1952 y 1953; posteriormente, en 1964 Nicolet Industries Inc. complementó el estudio del área mediante el levantamiento magnetométrico y nuevas perforaciones. Esta cedió sus derechos en Las Brisas a una compañía suiza que, junto con inversionistas colombianos, constituyó la sociedad denominada Minera Las Brisas S. A. hacia finales de 1980 esta nueva compañía hizo los montajes necesarios para empezar la explotación a cielo abierto.

En 2012 la Superintendencia vendió la empresa. Los compradores son colombianos y crearon una nueva compañía que se llama Bricolsa. Pagaron 4500 millones de pesos, tienen licencia para explotar 5500 hectáreas y aspiran producir 1500 toneladas mensuales de asbesto (Semana, 2013).

Las reservas actuales probadas son del orden de 2 592 000 toneladas, de las cuales solo se ha extraído menos del 10% estimándose que a una tasa de extracción de 1500 toneladas mes, las reservas analizadas duraran aproximadamente 30 años (Ruggiero, 2015).

En la figura 4 se evidencia la información extraída del *Mapa de Zonas con Potencial Integral de Colombia para Recursos Minerales* (SGC, 2011), la distribución espacial y temporal de depósitos y ocurrencias o manifestaciones minerales en un contexto geológico del *Mapa Metalogénico de Colombia versión 2016* con la información validada a la fecha (SGC, 2016) y los títulos mineros vigentes (ANM, 2017).

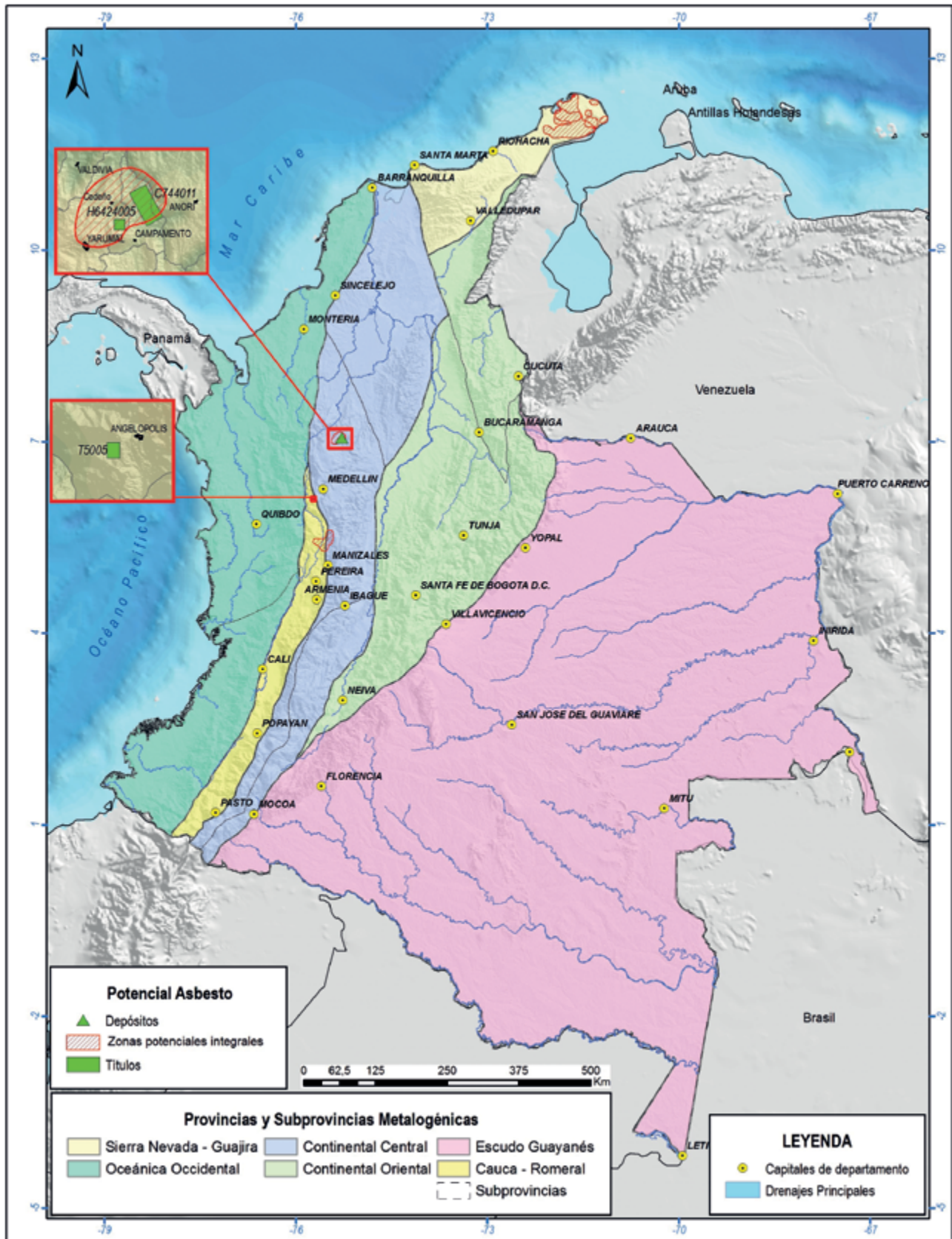


Figura 4. Asbesto en Colombia

Fuente: Catastro Minero Colombiano en ANM, 2017; SGC, 2011 y SGC, 2016.

3.3.2. Comercio

Según la información suministrada por el UPME (2017), en Colombia son mayores las importaciones que las exportaciones de asbesto. Con respecto a las importaciones, se registra una curva semirregular, con unos periodos crecientes y otros decrecientes; el pico máximo se encuentra en el año 2015, con un valor de 25 000 000 de toneladas métricas y un pico mínimo registrado en el año 2008, con un valor de 4 000 000 toneladas métricas (figura 5). La mayor parte del asbesto importado por Colombia procede de Canadá, y la descripción arancelaria es amianto (asbesto).



Figura 5. Importaciones de asbesto en Colombia

Fuente: UPME (2017)

4. Aspectos ambientales y sustitutos

El resultado de las investigaciones médico-científicas sobre el asbesto tipo crisotilo (Chrysotile Institute, 2015), indican lo siguiente:

1. El crisotilo solo constituye un riesgo cuando se lo inhala; su ingesta no representa riesgo.
2. El crisotilo es menos biopersistente y menos riesgoso que las variedades provenientes de anfíboles.
3. Existe una muy débil asociación entre la exposición al crisotilo y el mesotelioma.
4. En bajos niveles de exposición, el asbesto crisotilo no representa ningún riesgo detectable para la salud humana.

Se han identificado tres tipos de enfermedades respiratorias relacionadas con la exposición al asbesto: la asbestosis, el mesotelioma y el cáncer de pulmón, que se pueden manifestar de 10 a 40 años después de la primera exposición.

En 1977, la Agencia Internacional sobre la Investigación del Cáncer catalogó todos los tipos de fibras del asbesto como cancerígenos. Sin embargo, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la población en general no corre un riesgo detectable cuando se expone a niveles bajos de asbesto entre (0.0001 y 0.001 fibras/ml) presente en el medio ambiente.

En 1989, el grupo de expertos de la Organización Mundial de la Salud recomendó no sobrepasar el límite de exposición de 1 fibra/ml.

Además, hay consenso internacional en que el crisotilo es menos peligroso que las variedades anfibólicas del asbesto. El crisotilo no solo es una materia menos polvorienta, dadas sus propiedades físicas, sino que también tiende a desintegrarse y disolverse en los fluidos corporales, por lo que se elimina más fácilmente de los pulmones mediante mecanismos de defensa naturales, mientras que las variedades anfibólicas son más polvorientas y más durables, razón por la que persisten en los pulmones (Chrysotile Institute, 2015).

De acuerdo con las recomendaciones de las reuniones científicas, convocadas por la Organización Internacional del Trabajo (OIT), la reglamentación actual se dirige hacia una prohibición completa de las formas comerciales de asbesto anfibólico (crocidolita y amosita) y de los productos aislantes friables de baja densidad; mantiene, no obstante, el uso de los productos crisotílicos de alta densidad en fibrocemento y forros de frenos, entre otras aplicaciones (La y Qama, 1993).

Actualmente, en el Congreso colombiano cursa un proyecto de ley para prohibir el uso del asbesto en la industria en todo el territorio nacional.

En cuanto a los sustitutos, numerosos materiales pueden reemplazar al asbesto, entre los que se incluyen el silicato de calcio, la fibra de carbono, fibra de celulosa, fibra cerámica, fibra de vidrio, fibra de acero, wollastonita y varias fibras orgánicas, tales como aramida, polietileno, polipropileno y politetrafluoroetileno. Varios minerales no fibrosos o rocas, tales como perlita, serpentina, sílice y talco, también se consideran posibles sustitutos del asbesto en productos en los que no se requieren las propiedades de refuerzo de las fibras. En la industria de cloroalcalinos, la tecnología de células de membrana es una alternativa a los diafragmas de asbesto.

Bibliografía

- Abú-Shams, K. y Pascal, I. (2005). Características, propiedades, patogenicidad y fuentes de exposición del asbesto. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 28(Supl 1), 7-11.
- Agencia Nacional de Minería (ANM). (2017). *Estado actual de títulos y solicitudes mineras en Colombia*. Bogotá.
- Bates, R. (1969). Metamorphic minerals: asbestos. En *The geology of industrial rocks and minerals*. New York: Dover Publ.
- Berger, H. (1963). *Asbestos fundamentals*. New York: Chemical Publ.
- Chrysotile Institute (2015). *Protecting worker health: Control begins at the source*. Disponible en <http://www.chrysotile.com/en/chrysotile/hltsfty/health.aspx>.
- Cooke, H. (1937). *Thetfors, disroeli and eastern half of warwick map areas*. Quebec: Geological Survey of Canada.
- Gómez, T., Nivia, G., Jiménez, M., Montes, R., Sepúlveda, O., Osorio, N. et al. (2006). *Mapa geológico de Colombia escala 1:2.800.000*. Bogotá: Ingeominas.
- González, H. (1987). Asbesto. En *Recursos minerales de Colombia* (vol. II). Bogotá: Ingeominas.
- González, H. (1995). Asbesto. *Recursos minerales estratégicos para el desarrollo de Colombia*. Bogotá: Ingeominas.
- González, H. (2001). *Mapa geológico del departamento de Antioquia. Memoria explicativa*. p 210. Medellín: Ingeominas.
- Harris, H. (1973). How Nicolet proved and evaluated Colombian asbestos deposit. *World Mining*, 26 (13), 42-46.
- Hora, Z. (1997). *Ultramafic-hosted chrysotile asbestos*. Victoria: British Columbia Ministry of Employment and Investment.
- La y Qama (1993). *Safe use of chrysotile asbestos: A manual on preventive and control measures*. Quebec: Instituto del asbesto, Asociación Quebecuense de Minas de Asbesto.
- Keith, S. y Bain, G. (1932). Chrysotile asbestos: 1. Chrysotile veins. *Economy Geology*, 27, 169-188.
- Ortiz, F. (2004). Guías para la localización de metales preciosos en Ofiolitas colombianas. *Dyna*, 71 (142), 11-23.
- Revista Semana. (2013). *La polémica mina que revivió en Antioquia*. Disponible en <https://www.semana.com/nacion/articulo/la-polemica-mina-revivio-antioquia/350344-3>
- Ruiz, J. (2006). *Mejoramiento de la productividad de Minera las Brisas S. A. Medellín*: Universidad Nacional de Colombia.
- Ruggiero, R. (2015). *Presentación Bricolsa SAS*. Disponible en <https://prezi.com/mbodfyhebvut/presentacion-bricolsa-sas/>
- Servicio Geológico Colombiano (SGC). (2011). *Mapa de zonas potenciales integrales para recursos minerales. Esc: 1: 1 000 000*. Bogotá.
- Servicio Geológico Colombiano (SGC). (2016). *Mapa metalogénico de Colombia. Esc: 1: 1 500 000*. Bogotá.
- Tobón, J. (2004). *Rellenos industriales minerales*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- UN (2001). *Guidelines to the United Nations International Framework Classification for Reserves/Resources: solid fuels and mineral commodities*. New York: UN ECE Committee on Sustainable Energy.
- UPME (2017). *Reportes de minería*. Disponible en http://www1.upme.gov.co/simco/Reportes_SIMCO/Paginas/Busqueda.aspx.
- USGS (2006). Asbestos. En *2006 Minerals Yearbook*. Washington.
- USGS (2017). *Asbestos: Statistics and information*. Disponible en <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/asbestos/>.
- Virta, R. (2006). *Asbesto*. New York: USGS.
- Virta, R. y Mann, E. (1994). Asbestos. En *Industrial Minerals and Rocks* (6.ª ed.). Bloomington: M. A. Society for Mining, & D. D.