



**FACULTAD DE FARMACIA
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE**

TRABAJO FIN DE GRADO

FIBRA DE VIDRIO

Autor: Laksha Suresh Sadhwani

Fecha: Febrero 2019

Tutor: María Teresa Gutiérrez Ríos

1. Resumen y Abstract	2
2. Introducción y antecedentes	
2.1 Historia.....	3
2.2 Estructura química.....	4
2.3 Propiedades.....	5
2.4 Proceso de fabricación.....	5
2.5 Tipos de fibras de vidrio.....	8
2.6 Formas comerciales.....	9
2.7 Usos y aplicaciones.....	10
3. Objetivos: salud y peligros.....	10
4. Material y métodos.....	11
5. Resultados y discusión.....	11
6. Conclusiones.....	17
7. Bibliografía.....	17

RESUMEN

La fibra de vidrio es un material producido por el hombre, cuyo uso se conoce desde 1713. La base de esta materia prima es inorgánica, empleándose ampliamente en distintas ramas como la construcción, aeronáutica, generalmente como aislantes eléctricos y acústicos, y como material de refuerzo para plásticos (PRFV). La fibra de vidrio mineral artificial se clasifica en diferentes tipos según su estructura, siendo estos el filamento continuo de vidrio, las lanas minerales (lana de vidrio, lana de escoria y lana de roca), y las fibras cerámicas refractarias (FCR).

El uso de este material ha surgido como sustitución del amianto, ya que existe suficiente evidencia clínica de que la exposición al mismo causa cáncer de pulmón. Asimismo, existen diferentes estudios publicados que pretenden averiguar el impacto que tienen las fibras minerales artificiales (FMA) sobre la salud de los humanos, sobre todo en aquellas personas que están expuestas diariamente a ellas. La vía de entrada al organismo de estas partículas es principalmente la vía inhalatoria, por lo que los principales efectos tienen lugar a este nivel, y el grado de patogenicidad depende del tamaño de la partícula, su composición química, la concentración de estas partículas en el aire y su biopersistencia en el organismo. En el trabajo presentado se pretende analizar los estudios y datos que existen acerca de la capacidad que tienen estas fibras de producir una enfermedad respiratoria.

Palabras clave: “fibra de vidrio”, “fibra mineral artificial”, “riesgo laboral”, “toxicología”, “prevención”, “enfermedades ocupacionales”, “cáncer”.

ABSTRACT

Fiberglass is a man-made material which has been known since 1713. The basis of this raw material is inorganic, used widely in different branches such as construction and aeronautics, usually as electrical and acoustical insulation, and for fiber-reinforced plastic (FRP). These man-made mineral fibers (MMVFs) are classified in different categories according to the structure they present, these being continuous fiberglass strands, mineral wools (glass wool, slag wool and stone wool), and refractory ceramic fibers (RCF).

The usage of this material has emerged as a replacement of the asbestos, since there is enough clinical prove and evidence that the exposure to it causes lung cancer. There are also significant published studies that aim to find out the impact of MMVFs on the human health, especially in those who are exposed daily to them. The fiberglass particles enter the body via inhalation, thus its main effects will impact at this level. The pathogenicity of fiberglass will depend on its chemical composition, the particle size, the concentration of these particles in the air and its bio-persistence in the body. The following work intends to analyze the ability of the mineral fibers to cause a respiratory disease on studies and data published till date.

Key words: “fiberglass”, “mineral fiber”, “occupational hazard”, “toxicology”, “prevention”, “cancer”.

2. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.

2.1 HISTORIA

La fibra de vidrio mineral artificial (FMA), conocidas como *Man-Made Mineral Fibres* (MMVFs) en inglés, está formada a partir de sílice, cal, alúmina y magnesita, al igual que el vidrio, con la diferencia de que a éstos se les añaden distintos óxidos a concentraciones conocidas para la obtención de las fibras que se desean utilizar.

En cuanto a los orígenes de la fibra de vidrio, se conoce que fue desarrollada de manera pobre por los egipcios, pudiéndose observar en el museo de Londres algunos confeccionados. No obstante, la primera referencia que se tiene sobre la fibra de vidrio es de 1713, gracias al diseñador Réaumur, que expone muestras de tejido elaboradas con este material en la Academia de Ciencias de París (Francia). En 1893 otro diseñador de la época, Edward Drummond Libbey, presenta un vestido realizado con fibra en la Exposición Universal de Chicago (Estados Unidos), no cobrando importancia este pequeño avance debido a su textura rígida, escasa flexibilidad y a la fragilidad que exhibía el modelo expuesto.

Es sólo a partir de 1936 cuando comienza la producción a gran escala de la fibra de vidrio o lana de vidrio, tras años de estudios durante el comienzo del siglo XX gracias a las invenciones de Réaumur y Libbey, que dio pie a que se investigara más sobre ello. Se conoce hoy que este paso lo llevó a cabo Owens-Illinois Glass en Norteamérica y actualmente, Owens Corning es el mayor productor de fibra de vidrio del mundo, con fábricas instaladas hasta en 28 países; sin embargo, es Rusell Games Slayter quien presentó la lana de vidrio como un material aislante para la construcción de edificios dos años más tarde, en 1938, bajo el nombre comercial de Fiberglass.

Es al finalizar la Segunda Guerra Mundial cuando la fibra de vidrio se extendió a varios países europeos, como Francia, Italia y España. Sus primeras utilidades se remitieron al área militar para confección de radares electrónicos y piezas de aviones de guerra.

A día de hoy la fibra de vidrio se utiliza comúnmente como un material aislante térmico. También se emplea como agente de refuerzo para muchos productos poliméricos, para dar como producto final un material compuesto muy fuerte y ligero denominado plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV). Por otro lado, este material siempre se compara con la fibra de carbono puesto que presenta comportamientos similares, aunque no es tan rígida como él pero sí más económica y menos frágil. ^[1] ^[2]

2.2 ESTRUCTURA QUÍMICA

La fibra de vidrio es un **compuesto** de estructura amorfa, es decir, sus moléculas se orientan al azar (lo que se conoce como **carácter vítreo**), concretamente, es un material que consta de numerosos filamentos poliméricos basados en dióxido de silicio (SiO_2)_n muy finos.

Al calentarlo a altas temperaturas, la mayoría de las moléculas se mueven libremente (sobre los 1713°C) y se ablanda, de manera que si se enfría rápidamente no le da tiempo a formar esa estructura ordenada, por lo que en el polímero se forma una estructura tetraédrica compuesta por un átomo de silicio en el centro y cuatro átomos de oxígeno, uno en cada vértice de este tetraedro. Estos átomos de un tetraedro se juntan con otros átomos de oxígeno de otro, formando así una red. Si se desea obtener esa estructura ordenada (estado cristalino), se tiene que calentar a temperaturas superiores a 1200°C durante un tiempo largo.

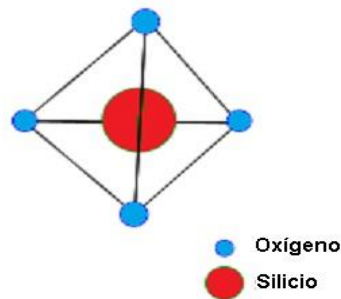


Figura 1. Tetraedro de silicio.

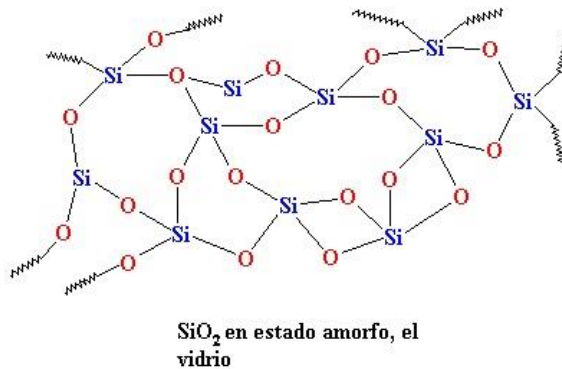


Figura 2. Estructura amorfa del vidrio.

Para evitar trabajar con temperaturas tan altas, que es un gran inconveniente, se introducen óxidos, que darán lugar a los distintos tipos de fibras de vidrio que conocemos a día de hoy, que se explicará más adelante (en el apartado de Tipos de Fibra de vidrio).^[3]

2.3 PROPIEDADES

Existen dos propiedades fundamentales ^{[4] [5]}:

- a) **Térmica:** son muy buenos aislantes térmicos debido a su alta proporción de superficie sobre peso (aunque tiene como inconveniencia el ataque químico por este detalle); por el aire que atrapa en su interior, hace que tenga una buena conductividad térmica (hace que el calor se disipe de la manera más rápida posible).
- b) **Mecánica:** esta es una cualidad que se comprueba sobre las fibras que acaban de ser fabricadas, ya que son las que deberían de ser más fuertes por ser dúctiles. Un importante factor a tener en cuenta es la humedad, ya que si la superficie se encuentra rayada la absorbe, empeorando las grietas y la tenacidad del material.

Otras características que presenta la fibra de vidrio son ^{[6] [7]}:

- Buen aislante eléctrico: esta estructura vítrea no conduce electricidad, por lo que es ideal en muchas instalaciones.
- Baja densidad: tiene un peso ligero.
- Resistencia química: la fibra de vidrio no se deteriora ni se pudre gracias a que es resistente a la mayoría de los ácidos.
- Económico.
- Bajo mantenimiento: por sus características intrínsecas no se necesita ningún mantenimiento especial, por lo que sale rentable en cuanto a coste/tiempo.
- Versatilidad: gracias a los distintos tipos que existen, hace que haya una amplia gama de compuestos en el mercado laboral.
- Permeable a las ondas electromagnéticas.
- La fibra de vidrio es incombustible por naturaleza (no propaga la llama ni origina con el calor humos ni toxicidad).
- Estabilidad dimensional: es poco sensible a las variaciones de temperatura e higrometría, tiene un bajo coeficiente de dilatación.
- Es compatible con materias orgánicas, lo que le confieren la posibilidad de asociarse a numerosas resinas sintéticas, así como a ciertas matrices minerales, tales como el yeso o el cemento.
- Gran flexibilidad.

2.4 PROCESO DE FABRICACIÓN

A continuación, se explica el proceso de formación de la fibra de vidrio por las distintas etapas que da lugar al producto final ^{[8] [9] [10]}:

a) Conformación-fusión:

Esta etapa se puede llevar a cabo de dos maneras: por un proceso de fusión directa o por un proceso de refundición. En ambos casos se parten de las materias primas sólidas finamente divididas en estado de polvo, se dosifican con exactitud y se

mezclan hasta que quede homogéneo (vitrificable). Esta mezcla se introduce en un horno, donde se funde a distintas temperaturas según los materiales que estén presentes, pero generalmente se sitúa en torno a los 1550°C.

- Fusión directa: en este procedimiento simplemente el material se introduce en el horno y se funde, yendo directamente al buje (pieza cilíndrica que gira alrededor de un eje).
- Proceso de refundición: en este método, el material fundido es cortado y posteriormente enrollado en bolitas o canicas, que rápidamente son enfriados. Se envasan adecuadamente y se llevan a las instalaciones adecuadas, en donde estas canicas se introducen en el cilindro y el material se vuelve a fundir.

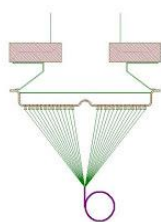


Figura 3. Proceso de fundición directa.

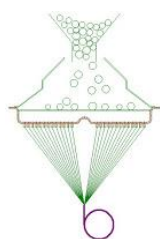


Figura 4. Proceso de fundición indirecta.

b) Fibrado:

La mezcla fundida se hace pasar por una placa con boquillas, llamado bushing o hileras, por la cual se consigue la formación de los filamentos. Esta placa está hecha a partir de platino aleado con rodio y está calefaccionado, con lo cual mantiene la temperatura del vidrio fundido en unos 1250°C. Por las boquillas de la bandeja, se cuela por gravedad la mezcla dando origen a esas fibras que posteriormente se estiran a gran velocidad, entre 10 y 60 m/s, según el diámetro que se quiera obtener.

Un factor determinante en esta etapa es el número de boquillas o cabezales que presenta la placa y el diámetro de estos orificios, que suelen tener unas dimensiones controladas, ya que el correcto diseño es lo que determinará la delicada fabricación de las fibras de vidrio.

Cabe mencionar que la viscosidad del vidrio fundido tiene un papel importante para que la fabricación sea efectiva: durante la elaboración (estirando el vidrio para reducir la circunferencia de la fibra), la viscosidad debe ser relativamente baja; si es muy alta, la fibra se rompe durante el estirado. Sin embargo, si es demasiado baja, el vidrio forma gotas en lugar de moldearse en forma de fibra.

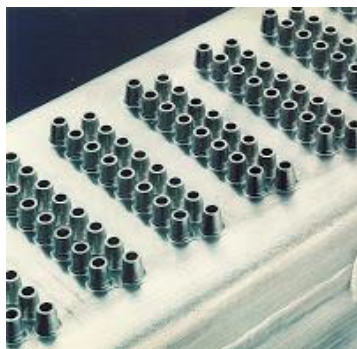


Figura 5. Boquillas.

c) Enfriamiento:

Una vez estirados estos filamentos de vidrio tienen que ser rápidamente enfriados, primero pasando por una fase de radiación y luego por una segunda fase de agua fría pulverizada (son las llamadas aletas de enfriamiento), consiguiendo así la forma vítrea característica de este material.

d) Ensimado:

Las fibras que se han obtenido hasta este punto de la fabricación no pueden ser usadas directamente ya que no tienen flexibilidad, no resisten la abrasión y carecen de cohesión entre ellas. Este problema se resuelve revistiendo los filamentos con una película formada por distintos compuestos químicos con función definida en fase acuosa (lo que se llama ensimaje), en una proporción baja – entre 0,5 y 5%. Esta capa es depositada a la salida de la hilera, cuando los filamentos aún están entre 60 y 120°C. Una característica curiosa es que en función del tipo de fibra que se quiera obtener y del uso que se les quiera dar, los componentes del ensimaje variarán, haciéndolos aptos para una aplicación específica a la vez que darán resistencia, rigidez y cohesión entre los filamentos.

e) Bobinado:

A continuación, se procede a la unión de estos filamentos con el fin de obtener la fibra de vidrio en sus distintas formas comerciales, que es facilitada por el previo ensimaje. Generalmente dará lugar a un producto intermedio, un ovillo, que son los filamentos enrollados que se bobinan, aunque también puede dar lugar al llamado roving, que es ya un producto final.

f) Secado:

Tanto a los productos finales como los intermedios se les hace pasar por una unidad de secado que tiene como finalidad eliminar el exceso de humedad de las fibras y dotarlo con un tratamiento térmico para reforzar el ensimaje.

g) Transformación final:

En esta última etapa se realiza lo necesario para obtener el producto final en su formato adecuado. Se muestran las formas comerciales más adelante en el trabajo.

2.5 TIPOS DE FIBRA DE VIDRIO

Tipos según la composición química ^[11] ^[14]:

- 1) *Fibras tipo E*: es el tipo más utilizado debido a que tiene muy buenas propiedades dieléctricas y absorbe poca humedad, aparte de ser de bajo coste. Representa el 90% del refuerzo utilizado en composites. Está formada por fibra inorgánica compuesta de 53-54% SiO₂, 14-15.5% Al₂O₃, 20-24% CaO, MgO y 6.5-9% B₂O₃, con escaso contenido en álcalis. En cuanto a sus aplicaciones, podemos destacar su uso en la construcción (en tejidos y como aislante); para componentes de vehículos; en el deporte como material para pértigas y esquís; y la más importante, como parte de los plásticos reforzados con fibra de vidrio (PRFV).^[12]
- 2) *Fibra tipo A*: es el primero que apareció cuando se diseñó la adición de óxidos a la fibra de vidrio, que concretamente se le añadió carbonato sódico. Este tipo contiene una gran cantidad de sílice y se vio que resiste a medios alcalinos. Se utiliza como reforzante gracias a la gran resistencia química que posee.
- 3) *Fibra tipo B*: contiene borosilicato de calcio con bajo contenido en álcalis. Tiene buenas características eléctricas y una gran durabilidad.
- 4) *Fibras tipo AR*: se emplea este tipo fundamentalmente en la construcción en sustitución del amianto para el refuerzo de cemento, ya que se ha demostrado mediante estudios científicos que este último es un carcinógeno tipo 1. Está compuesta fundamentalmente por óxido de zirconio, lo que le confiere una buena resistencia a compuestos alcalinos.^[13]
- 5) *Fibras tipo D*: gracias a su capacidad de baja pérdida de electricidad, es empleado en la fabricación de materiales electrónicos, de comunicación y como elemento permeable a las ondas electromagnéticas. Está compuesto por un 73-74% SiO₂, y 22-23% B₂O₃.
- 6) *Fibras tipo C*: tiene la propiedad de ser resistentes a la corrosión (resistencia química), por lo que su aplicación se basa fundamentalmente en tuberías, ya sean para torres de refrigeración o tanques de agua. Está elaborada con un 60-72% SiO₂, 9-17% CaO, MgO y 0.5-7% B₂O₃. Es un vidrio intermedio entre el A y E.
- 7) *Fibras tipo S*: se utiliza principalmente en aeronáutica por su alta resistencia a la tracción y estabilidad térmica.
- 8) *Fibras de tipo R*: está compuesta por un 60% SiO₂, 25% Al₂O₃, 9% CaO y 6% MgO. Tiene una elevada resistencia mecánica, por lo que se emplea en materiales que exijan ser resistente a la fatiga, temperatura y humedad (aeronáutica, aviación y armamento, fundamentalmente).

Tipos según se estructura ^[15]:

Según el proceso de fabricación, las fibras de vidrio difieren entre sí porque presentan distintos diámetros y longitudes, pudiendo clasificarlas en las siguientes:

- 1) *Filamentos o fibras de vidrio de filamento continuo*: son filamentos largos y rectos de diámetro grueso e igual a lo largo de toda la fibra. Si hablamos de los riesgos para la salud, cabe mencionar que los filamentos se fragmentan dando lugar a fibras de menor longitud, pero no son lo suficientemente pequeñas (alcanzan un diámetro de 3,5 a 25 μ m) como para alcanzar el tracto respiratorio inferior, por lo que se eliminan con facilidad.
- 2) *Lanas*: es una malla de filamentos entrelazadas y desorganizadas con distintos diámetros y longitudes, que se utiliza para confeccionar estructuras por su resistencia al calor y a la tracción. Dentro de esta categoría, las podemos subdividir en lanas de vidrio, lanas de roca y lanas de escoria. Algunas partículas de este material sí que pueden llegar a alcanzar las vías respiratorias profundas.

Dentro de las lanas cabe mencionar también las microfibras de lana de vidrio, que tienen un diámetro inferior a 1 μ m (son las que se utilizan en filtros de aire de alta eficiencia).

- 3) *Fibras cerámicas refractarias (FCR)*: es un material que suele llevar aluminio. Sus principales características son la resistencia al calor y la baja conductividad eléctrica y acústica, por lo que es empleado como material refractario. Son las que presentan un mayor riesgo para la salud ya que presentan un diámetro de 1,2 a 3,5 μ m.

2.6 FORMAS COMERCIALES DE LA FIBRA DE VIDRIO

Existe un amplio rango de formas comerciales de la fibra de vidrio que se utilizan en la industria de plásticos reforzados, según lo que se quiera obtener y su método de conformación ^[16]:

1. Fibra molida: a partir del vidrio tipo E se elabora la fibra molida, cuyo proceso de fabricación la hace compatible con resinas específicas, adquiriendo así una densidad determinada. Es usado en compuestos termoplásticos y termofijos.
2. Hilo cortado (de fibra larga y fibra corta-chopped strands): son fibras de vidrio tipo E cortados a una longitud específica. El hilo cortado de fibra larga es utilizado en materiales compuestos con resina poliéster y epoxi, mientras que la fibra corta se emplea en el refuerzo de termoplásticos (Nylon, poliestireno, etc.)
3. Rovings o mechas continuas: también es fabricado a partir de la fibra E. Consiste en filamentos continuos pero que tienen un cierto grado de torsión

que se utiliza, por ejemplo, para el bobinado filamentario (también existe el roving sin torsión, utilizado para el laminado por spray).

4. Tejidos: son telas de alto rendimiento y resistencia, conformadas por rovings tejidos.
5. Velos: es una tela de fibra de vidrio lisa y homogénea, usados para laminar.
6. Mat de filamento continuo: este mat (felpa en inglés) está conformado por filamentos de vidrios continuos que han sido aglomerados con una resina de poliéster insaturado.
7. Mat de filamentos cortados: es igual que el mat de filamentos continuos con la excepción de que se forma a partir de filamentos cortados. Se utiliza del mismo modo un aglutinante en emulsión o polvo de poliéster para constituir la felpa.

2.7 USOS Y APLICACIONES

La fibra de vidrio en la industria textil se utiliza para cintas, tela de aislamiento y recubrimiento de material eléctrico, filtros químicos y en telas decorativas, teniendo como premisa que estas fibras sean incombustibles y que no se estiren. En sus otras formas comerciales, concretamente los fieltros o tejidos, se aplica también para reforzar plástico, cintas y papel. Otra mención sería la fibra molida, que se utiliza como refuerzo en plásticos moldeados. En cambio, la lana de vidrio se utiliza mayormente en el campo de la construcción ^[17].

3. OBJETIVOS

1. Evaluación de la incidencia de cáncer en los trabajadores expuestos a las distintas estructuras de fibra de vidrio en las fábricas en un estudio realizado en Estados Unidos como sustituto del amianto.
2. Evaluación de la incidencia de cáncer en los trabajadores expuestos a las distintas estructuras de fibra de vidrio en las fábricas en un estudio realizado en Europa como sustituto del amianto.
3. Otras enfermedades causadas por las fibras de vidrio.
4. Medidas de prevención en la exposición a las FMA.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se ha realizado en base a una revisión bibliográfica, usando información de los artículos científicos publicados en plataformas como PubMed, Scribd, google académico, scielo, digital.scic, para la búsqueda de estudios e investigaciones llevados a cabo con el fin de recabar los suficientes datos para poder clasificar o no la fibra de vidrio como un potencial cancerígeno. Asimismo, se halló información en el IARC (International Agency for Research on Cancer), concretamente en la monografía 81 publicada sobre las fibras de vidrio. También se procedió a la búsqueda de otras enfermedades causadas por las FMA como pueden ser la dermatitis o el agravamiento del asma.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La aplicación en la industria de la fibra de vidrio surge como sustitutivo del amianto y de los asbestos, ya que tras años de su uso se ha demostrado en estudios científicos que causan mesotelioma, fibrosis pulmonar y cáncer de pulmón, por lo que el IARC (International Agency for Research on Cancer) lo ha clasificado como un carcinógeno tipo 1. Debido a las similitudes que presentan ambos, se llega a comparar los efectos tóxicos que puede producir la fibra de vidrio en animales y humanos.

Para entender cómo puede llegar a causar esto, comencemos definiendo el término de fibra: son partículas alargadas y finas, de al menos $5\mu\text{m}$, y cuya longitud es de 3 a 5 veces superior que el diámetro. La vía de entrada al organismo de forma más habitual es la vía respiratoria, siendo poco frecuente la dérmica y menos aún la digestiva (suelen aparecer como casos accidentales) ^[18].

Existen tres factores con respecto a estas fibras que influyen en su capacidad de causar patología o no, siendo estas la dimensión, la durabilidad (o biopersistencia) y la dosis. A continuación se explican cada una de ellas ^[19]:

- **Dimensión:** el diámetro de estas partículas cobra mucha importancia, ya que será la que concrete el término de fibra respirable, es decir, las partículas que tengan un diámetro mayor no estarán suspendidas en el aire por mucho tiempo y caerán por gravedad, mientras que las que tengan un diámetro inferior se mantendrán más tiempo en el aire y podrán ser inhaladas. La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera que las fibras respirables son aquellas que tienen una longitud mayor de $5\mu\text{m}$, un diámetro igual o menor a $3\mu\text{m}$, y una relación longitud/diámetro igual o mayor a 3 (la relación diámetro/longitud es un valor arbitrario de consenso que fue necesario establecer para completar la definición), pudiendo alcanzar estas las vías respiratorias inferiores. Como ya se ha explicado, el diámetro de las fibras de vidrio varía según el modo de fabricación.

- **Durabilidad o biopersistencia:** es la resistencia que tiene la fibra a disolverse en fluidos biológicos o, dicho de otra manera, es la capacidad de permanencia que tiene el material en el organismo. Esto depende de la dosis inhalada, de la composición química y del tamaño (las partículas de 1 y 2µm son las que tienen mayor permanencia a nivel alveolar, y si son de longitudes mayores más difícil lo tendrá el organismo para eliminarlo). Con esto, se establece que según el diámetro y longitud que tengan se eliminarán de una manera más rápida o no; las fibras cortas son capturadas por los macrófagos alveolares y se procede a la lixiviación, mientras que las fibras largas sólo son parcialmente eliminadas, por lo que se activa de inmediato un proceso inflamatorio. Si se llega a dar este último, se produce el estrés oxidativo originando genotoxicidad y la proliferación anormal de las células, que induce así mutaciones en el DNA. Sumado a este proceso se produce la diseminación de los macrófagos con las fibras parcialmente fagocitadas, lo que más tarde causará la fibrosis pulmonar. Dicho esto, se estima que la biopersistencia de las fibras de vidrio es menos de 10 años.
- **Dosis:** la concentración en el aire y la exposición juegan un papel importante en la penetración de estas partículas en el árbol bronquial. No es lo mismo estar expuesto durante un periodo corto de tiempo y en un lugar donde apenas están presentes estas partículas que estar en contacto con ellas durante mayor tiempo y mayor carga (concepto de transpirabilidad – es la relación entre las concentraciones de partículas en el aire y las que alcanzan en los alveolos). Asimismo, influye también la inhalación, alcanzando las profundidades de la vía si se respira por la boca y quedándose en la parte superior si es a través de la nariz.

Según las características que se han descrito a lo largo de este trabajo, los estudios científicos se basan en clasificar las fibras de vidrio como patológicos o no, en sus diferentes estructuras existentes (filamento continuo de vidrio, lanas minerales y las fibras cerámicas refractarias).

ESTUDIOS EXPERIMENTALES EN ANIMALES.

Como bien se sabe, se llevan a cabo estudios en animales para conocer una patología, en caso de que sea conocida, y poder extrapolar los resultados a la población humana. En el caso de las fibras vítreas se llevaron a cabo en roedores, siendo las vías de entrada en estos animales la vía inhalatoria, la vía intraperitoneal, la vía intrapleural y la instilación intratraqueal. Muchos autores no están de acuerdo con que se establezca la vía intraperitoneal y la intrapleural como parte del estudio del riesgo cancerígeno, ya que son dos vías que en el caso de los seres humanos no están expuestas, por lo que lo consideran inaceptable. ^{[20][21]}

En estos estudios que más tarde fueron confirmados por otras aportaciones que hizo la Research Consulting Company (RCC) se demostró que por las cuatro vías se produjeron mesoteliomas y tumores a dosis suficientes, lo que hizo pensar que las fibras minerales son carcinógenas. Pero esta teoría no se dio por válida debido a que las concentraciones a la que

estaban expuestas estos animales eran mucho mayores a las que estarían expuestas lo humanos y además, dado los tiempos de los que se trataba, no se conocía bien el material. [22][23]

En estas intervenciones se llegó a concluir lo siguiente [24] [25] [26] [27].

- a) Filamentos continuos de fibra de vidrio: se consideran no respirables por su tamaño, como se mencionó anteriormente.
- b) Lana de vidrio: se vio que por inhalación de estas partículas durante 2 años en los ratones no se evidenció ninguna patología, aunque la RCC menciona dos tipos de microfibras que son más biopersistentes que el resto, siendo estas dos la fibra-475 y la fibra-E. Se ha visto que la fibra-E en las ratas expuestas, por vía inhalatoria, se dieron casos de cáncer de pulmón y mesoteliomas y con la fibra-475, se reportaron casos de fibrosis pulmonar y un caso de mesotelioma.
- c) Lanos de roca y escoria: con ambos tipos no se evidenciaron casos de ningún tipo, sólo se desarrolló una mínima fibrosis en algunas ratas con la lana de escoria.
- d) Fibras cerámicas refractarias: la RCC demostró que se dieron casos de tumores y fibrosis por la inhalación de fibras cerámicas, que posteriormente se atribuyó al fenómeno de *lung overload*; esto quiere decir que una elevada concentración de fibras disminuye el aclaramiento pulmonar y por tanto la eliminación de estas partículas de forma natural del organismo, siendo consecuencia de ello la posterior aparición de inflamación y tumores.

ESTUDIOS EPIDEMIOLÓGICOS EN HUMANOS.

Los datos que se tiene hoy son gracias a dos estudios de cohortes que se llevaron a cabo en Estados Unidos y en Europa. En el primero de ellos, se evaluó una población de trabajadores de casi 17.000 personas que trabajaban en 17 fábricas distintas, iniciándose en los años 70' hasta que se obtuvieron los primeros resultados en 1985, pero al ver que eran inconcluyentes, se amplió el estudio a 32.110 trabajadores con un seguimiento hasta 1992. Por otro lado, el estudio de cohortes en Europa comenzó con 25.000 trabajadores de 13 fábricas de producción de fibra de vidrio, con un seguimiento hasta 1982 y posteriormente, se amplió hasta el 1990. Estos estudios son los que proporcionaron la evidencia del riesgo potencial de cáncer causadas por las FMA en el entorno laboral. [28] [29] [30]

1. Estudio de cohortes en EEUU [31] [32].
 - Filamento continuo de fibra de vidrio: no se llegó a observar una mayor mortalidad por cáncer de pulmón cuando se comparó con las otras tasas.
 - Lana de vidrio: se observó un aumento en la mortalidad por cáncer pulmonar, hasta que se vio que no era estadísticamente significativo debido a que la incidencia fue mayor en las personas expuestas durante menos de cinco años que en las personas que llevaban más tiempo trabajando; tampoco se tuvo en

cuenta el parámetro del tabaquismo, aludiéndose la causa de mortalidad a este último.

- Lana de roca y escoria: ocurrió lo mismo que en el caso anterior. Se demostró un aumento en la mortalidad que luego se atribuyó al tabaco, aunque no se tuvo en cuenta ni la duración de la exposición ni el tiempo transcurrido desde la primera exposición.

2. Estudio de cohorte en Europa:

- Filamento continuo de vidrio: debido a que la población expuesta a este tipo de fibra fue escasa, no se encontró evidencia suficiente de cáncer.^[33]
- Lana de vidrio: en esta cohorte se documentó un caso de muerte por mesotelioma y también se encontró un exceso de cáncer pulmonar. No obstante, se descubrió que en un par de fábricas existía asbesto (podría ser el causante de la muerte) y se desconocía también la cantidad de fumadores.^[34]
- Lana de roca y escoria: se reportó un exceso de trabajadores con cáncer de pulmón con estas lanas cuando aún no se habían implantado las medidas higiénicas necesarias. Contribuyendo a esto, se detectó la presencia de asbesto en muchas de las fábricas, por lo que no se pudo atribuir directamente la patología a las lanas de roca y de escoria.^[35]

ESTUDIOS SOBRE OTRAS ENFERMEDADES RESPIRATORIAS

Se han llevado a cabo otros estudios sobre filamentos continuos y lanas minerales en los cuales se demuestran que no se encontraron signos de afectación clínica, radiológica ni funcional, realizados en 1400 trabajadores (con 300 controles), a pesar de haber realizado una radiografía de tórax, pruebas respiratorias y un cuestionario sobre ello.

En otro estudio, Guber demostró que en un paciente varón, conductor de autobús, la biopsia transbronquial y el esputo mostraron fibras de lana de vidrio, tras notificarse que mostraba fibrosis pulmonar.^[36]

Se detalló también un caso de un carpintero que estuvo expuesto durante 41 años a la inhalación de la fibra de vidrio, mostrando su radiografía de tórax opacidades nodulares en la zona inferior de los pulmones y lesiones quísticas en la zona superior, demostrando con su biopsia de que se trataba de una fibrosis intersticial con depósitos de fibra de vidrio.^[37]

Drent por otro lado, descubrió 14 casos de enfermedades granulomatosa pulmonar en trabajadores que estaban expuestos a la lana de vidrio y filamentos continuos de fibra, presentando un patrón similar a la sarcoidosis. Es más, en seis de ellos se observó por microscopia electrónica las fibras de vidrio, por lo que se llegó a concluir que en personas susceptibles, la exposición a FMA sí que podría llegar a dar una enfermedad granulomatosa crónica.^[38]

OTRAS ENFERMEDADES CAUSADAS POR LAS FMA

La principal patología que surge por contacto con las FMA es la dermatitis, que las podemos clasificar según la clínica que presente:

- Dermatitis por contacto: al penetrar las fibras por la epidermis estimulan la liberación de histaminas o bradiquininas, causantes de la sensación de dolor y el prurito, especialmente en las zonas de pliegues y de fricción. El grado de irritación está ligado con el diámetro de las partículas, siendo únicamente las mayores de 4,5 micras las que la provocan. La estructura química de estas fibras hacen que sea inerte, pero es el acabado final durante el proceso de fabricación lo que les confiere la capacidad de producir la dermatitis.
- Dermatitis por alergia de contacto: surge por una reacción inmunológica retardada, lo que requiere un contacto previo con el alérgeno por el cual se desarrolla un cuadro de sensibilización a las 24-48 horas. Aparece una erupción eritematosa y prurito con forma de pápula.

Ambos cursan con lesiones de la piel en la zona expuesta que pueden propagarse a las zonas no expuestas por contaminación con la ropa. A su vez, estas lesiones pueden infectarse por el rascado causando lesiones pustulosas y de manera excepcional, cursan con eczema numular (manchas con forma de moneda).

Además de la lesión cutánea, la exposición a FMA causa irritación de la garganta, nariz y ojos; y en personas susceptibles, la inhalación de estas fibras puede agravar el asma y la bronquitis. ^{[39] [40]}

MENCIÓN DE LAS NANOPARTÍCULAS

En los últimos años están surgiendo en las investigaciones de la tecnología los diferentes usos de las nanopartículas. Estas pueden ser formadas a partir de elementos inorgánicos no metálicos (como el silicio, carbono o el boro); elementos inorgánicos metálicos (como el oro y la plata); y de elementos orgánicos o biológicos como los virus o liposomas. Debido a la estructura que presentan estas partículas, de varios nanómetros de ancho a varias micras de longitud, que se asemeja a las de las fibras y el amianto, se deben de realizar estudios que concluyan que no producen el mismo tipo de patologías y preocupación al ser inhaladas.

MEDIDAS DE PREVENCIÓN

A raíz de las patologías que surgen por las FMA, la Organización Internacional del Trabajo (OIT) crea un repertorio en el que se describen los criterios de seguridad que se tendrán que cumplir por parte de las distintas entidades que manejan este material, es decir, desde su fabricación hasta su eliminación. Para ello se estableció una serie de procedimientos basados en la evaluación de los peligros y riesgos, se asegura el suministro de ropa y equipos adecuados de protección y, a la vez, se forma al personal con la información necesaria para el manejo de las fibras de vidrio.

Las obligaciones generales para los fabricantes son entre otras proporcionar a los proveedores y usuarios una base de datos o ficha técnica donde se detalla la información sobre la seguridad de los materiales e información sobre la salud, y procurar que los productos que se elaboran puedan ser transportados y almacenados con una emisión mínima de partículas de fibras y polvo. Respecto a los usuarios, diseñadores y trabajadores, tienen que cumplir la normativa establecida por las autoridades y tener la formación e información adecuada para la utilización de las fibras, así como llevar el equipaje de seguridad individual suministrado y, cuando sea necesario, informar a su supervisor de los incumplimientos o riesgos que se detecten. Las autoridades por su parte, también tienen que participar en estas medidas, de manera que tienen que actualizar la información disponible sobre la protección de trabajadores y difundir esta información. Cumpliendo estas normas de seguridad, sobre todo por parte de los trabajadores en lo que al equipaje de seguridad concierne, mediante el uso de máscaras, guantes y gafas se consigue disminuir la exposición y la inhalación de estas fibras, por lo que se reduce la incidencia de las diversas patologías ocasionadas por ella, a diferencia del amianto.^[41]

En lo que respecta a España, se ha publicado una normativa por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) para la determinación de fibras en aire por microscopía óptica de contraste de fases, tanto de amianto como de las FMA, estableciéndose más tarde los valores límites ambientales (VLA) para ambos. Para la fibra de vidrio y la lana mineral el límite de exposición profesional es de una fibra respirable por centímetro cúbico, y para las fibras cerámicas refractarias, de $0,5/\text{cm}^3$. En general, la exposición media de las 8 horas laborales es inferior a $0,5$ fibras respirables/ cm^3 , aunque se piensa que en el pasado este valor era mucho más alto.^[42]

6. CONCLUSIONES

Tras años de estudios, el IARC en el 2002 consideró que no existían datos y evidencias suficientes como para establecer la fibra de vidrio como cancerígeno en humanos; no obstante, deja claro que en los animales de experimentación sí que se clasifican como cancerígenos un pequeño grupo dentro de las FMA. Asimismo, manifiesta que no se puede extrapolar los datos obtenidos en los estudios con roedores a la población humana, debido a las diferencias de concentración en la exposición a estas fibras, el tiempo que dura la misma, y por otros factores como son el tabaquismo o la exposición a otras sustancias más tóxicas (como el amianto).

Las diferentes investigaciones realizadas parecen indicar que existen varios grados de riesgo dependiendo del tipo de FMA: las fibras de vidrio más biopersistentes, la fibra-E (por la que han aparecido casos de cáncer de pulmón) y la fibra-475 (causante de mesoteliomas en algunos casos), y las FCR, que se clasifican como posibles carcinógenos para humanos (grupo 2B), mientras que las lanas de vidrio, roca y escoria y el filamento de vidrio continuo se consideran como no clasificables en cuanto a su efecto como potencial cancerígeno (grupo 3 en humanos).

Para poder clasificar de manera definitiva las diferentes estructuras de la fibra de vidrio son necesarios nuevos estudios clínico-epidemiológicos a largo plazo que permitan evaluar las FMA como potencial cancerígeno tras la exposición a ellas por vía inhalatoria.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Arkiplus. (2019). *Historia de la fibra de vidrio* / Arkiplus. [online] Available at: <https://www.arkiplus.com/historia-de-la-fibra-de-vidrio/>
- [2] Ecured.cu. (2019). *Fibra de vidrio - EcuRed*. [online] Available at: https://www.ecured.cu/Fibra_de_vidrio
- [3] [4] Scribd. (2019). *Estructura Química Fibra de Vidrio*. [online] Available at: https://es.scribd.com/document/248918376/Estructura-Quimica-Fibra-de-Vidrio?doc_id=248918376&download=true&order=456821261
- [5] Es.slideshare.net. (2019). *Nuevos materiales en la construcción*. [online] Available at: <https://es.slideshare.net/archieg/nuevos-materiales-en-la-construccion%C3%B3n>
- [6] Repositorio.upct.es. (2019). [online] Available at: <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/4002/pfc5725.pdf;jsessionid=29B549FA6A670334BFF259E18AC01431?sequence=1>

- [7] UNI-HER Blog. (2019). ▷ *Qué es la Fibra de Vidrio y Cuáles son sus Características*. [online] Available at: <https://www.uni-her.com/blog/caracteristicas-fibra-de-vidrio/>
- [8] Scribd. (2019). *Fibra de Vidrio*. [online] Available at: <https://es.scribd.com/document/112036321/Fibra-de-Vidrio>
- [9] Tecnologiadelosplasticos.blogspot.com. (2019). *Fibra de vidrio*. [online] Available at: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/fibra-de-vidrio.html>
- [10] Catarina.udlap.mx. (2019). [online] Available at: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/gonzalez_b_d/capitulo2.pdf
- [11] Webscolar. (2019). *Clasificación de la fibra de vidrio*. [online] Available at: <http://www.webscolar.com/clasificacion-de-la-fibra-de-vidrio>
- [12] Calvosealing.com. (2019). [online] Available at: http://calvosealing.com/sites/default/files/fibra_de_vidrio.pdf
- [13] Es.slideshare.net. (2019). *Fibra de vidrio*. [online] Available at: https://es.slideshare.net/uchuya_5/fibra-de-vidrio-80530402
- [14] Olivares Santiago, M., Santiago, M., Marín, C. and Fernández, J. (2019). *Los composites. Características y aplicaciones en la edificación*. [online] Academia.edu. Available at: http://www.academia.edu/35267871/LOS_COMPOSITES_CARACTER%C3%8DSTICAS_y_APLICACIONES_EN_LA_EDIFICACION_COMPOSITES_CHARACTERISTICS_AND_APPLICATIONS_IN_BUILDING_CONSTRUCTION
- [15] [25] [28] [41] http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0465-546X2015000300008
- [16] Es.slideshare.net. (2019). *Fibra de vidrio y de carbono*. [online] Available at: <https://es.slideshare.net/taniaestefanygamboavila/fibra-de-vidrio-y-de-carbono>
- [17] Maquinariapro.com. (2019). *Fibra de vidrio: usos y características de la fibra de vidrio*. [online] Available at: <http://www.maquinariapro.com/materiales/fibra-de-vidrio.html>
- [18] Insht.es. (2019). [online] Available at: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/601a700/ntp_641.pdf
- [19] Saludlaboral.ugtcyl.es. (2019). [online] Available at: <http://www.saludlaboral.ugtcyl.es/archivos/amianto/ntp306-las-fibras-alternativas-al-amianto-consideraciones-generales.pdf>
- [20] Stanton MF, e. (2019). *Relation of particle dimension to carcinogenicity in amphibole asbestoses and other fibrous minerals*. - PubMed - NCBI. [online] Ncbi.nlm.nih.gov. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6946253>
- [21] Roller M, e. (2019). *Results of current intraperitoneal carcinogenicity studies with mineral and vitreous fibres*. - PubMed - NCBI. [online] Ncbi.nlm.nih.gov. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8919265>
- [22] Hesterberg TW, e. (2019). *Use of lung toxicity and lung particle clearance to estimate the maximum tolerated dose (MTD) for a fiber glass chronic inhalation study in the rat*. - PubMed - NCBI. [online] Ncbi.nlm.nih.gov. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8812213>

- [23] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9400728>
- [24] Cullen RT, e. (2019). *Pathogenicity of a special-purpose glass microfiber (E glass) relative to another glass microfiber and amosite asbestos.* - PubMed - NCBI. [online] Ncbi.nlm.nih.gov. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10989371>
- [26] Mast RW, e. (2019). *Studies on the chronic toxicity (inhalation) of four types of refractory ceramic fiber in male Fischer 344 rats.* - PubMed - NCBI. [online] Ncbi.nlm.nih.gov. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21539476>
- [27] [29] Monographs.iarc.fr. (2019). [online] Available at: <https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/mono81.pdf>
- [30] Archbronconeumol.org. (2019). *Enfermedades respiratorias de origen ocupacional.* [online] Available at: <http://www.archbronconeumol.org/es-pdf-S0300289615300867>
- [31] Marsh GM, e. (2019). *Mortality among a cohort of US man-made mineral fiber workers: 1985 follow-up.* - PubMed - NCBI. [online] Ncbi.nlm.nih.gov. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2167956>
- [32] Marsh GM, e. (2019). *Historical cohort study of US man-made vitreous fiber production workers: I. 1992 fiberglass cohort follow-up: initial findings.* - PubMed - NCBI. [online] Ncbi.nlm.nih.gov. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11561358>
- [33] Boffetta P, e. (2019). *Cancer mortality among man-made vitreous fiber production workers.* - PubMed - NCBI. [online] Ncbi.nlm.nih.gov. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9115020>
- [34] Boffetta P, e. (2019). *Cancer incidence among European man-made vitreous fiber production workers.* - PubMed - NCBI. [online] Ncbi.nlm.nih.gov. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10450772>
- [35] Digital.csic.es. (2019). [online] Available at: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/97996/1/publi121.pdf>
- [36] Guber A, e. (2019). *Pulmonary fibrosis in a patient with exposure to glass wool fibers.* - PubMed - NCBI. [online] Ncbi.nlm.nih.gov. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17099906>
- [37] Takahashi T, e. (2019). *Pulmonary fibrosis in a carpenter with long-lasting exposure to fiberglass.* - PubMed - NCBI. [online] Ncbi.nlm.nih.gov. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8909608>
- [38] Drent M, e. (2019). *Association of man-made mineral fibre exposure and sarcoidlike granulomas.* - PubMed - NCBI. [online] Ncbi.nlm.nih.gov. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10955759>
- [39] Cursodermatosisprofesionales2012.atlantacongress.org. (2019). [online] Available at: <http://www.cursodermatosisprofesionales2012.atlantacongress.org/userfiles/file/CONGRESOS/2012/Dermatosis%20Profesionales/DERMATITIS%20FIBRA%20VIDRIO.pdf>
- [40] completo, V. (2019). *Salud en los Trabajos: DERMATOSIS : Trabajo y daño a la salud de la piel.* [online] Trabajadoresaludables.blogspot.com. Available at: <http://trabajadoresaludables.blogspot.com/2006/06/dermatosis-trabajo-y-dao-la-salud-de.html>
- [42] Insht.es. (2019). [online] Available at: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/MetodosAnalisis/Ficheros/MA/MA_051_A04.pdf