

Berilio

BERYLLIUM

Be

4

AGENTES CANCERÍGENOS EN EL TRABAJO: Conocer para prevenir

Qué es y dónde se puede encontrar

El berilio (Be) -también llamado *glucinio*- es un metal ligero, oscuro, de color gris plateado, con gran estabilidad térmica, alta conductividad y rigidez a la flexión. Se encuentra de forma natural en la corteza terrestre y se libera al medio ambiente como resultado de actividades tanto naturales como antropogénicas. Es un elemento relativamente raro, con una concentración de aproximadamente 2,8-3 ppm en la corteza terrestre y de 2,1 ppm en la corteza superior. Hasta finales de la década de 1960, el único mineral de berilio explotado comercialmente era el berilo ($\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_6$). En la actualidad, el mineral comercial de berilio más importante es la bertrandita (más del 75% de las explotaciones mineras), que se extrae de menas que contienen entre un 0,3 y un 1,5% de berilio [23].

El berilio también aparece en el aire y en el agua procedente de fuentes naturales y antropogénicas. En el aire, la fuente natural más importante es el polvo arrastrado por el viento (en un 95 % aproximadamente), siendo el resto debido principalmente a la actividad volcánica. En cuanto a las fuentes antropogénicas, la principal es la combustión de carbón y fueloil y, en menor medida, el uso de aleaciones de berilio y productos químicos (incluyendo el procesamiento, producción, uso y reciclaje del mineral), así como la quema de combustible sólido de las rocas. Sin embargo, su concentración ambiental atmosférica suele ser baja. Por su parte, en el agua, aparece también de manera natural por el desgaste de rocas y tierras que contienen berilio, aunque también puede ser relevante el proceso de lixiviación de depósitos de carbón. Las fuentes antropogénicas incluyen los efluentes de las aguas residuales procedentes de diferentes industrias como, por ejemplo, la eléctrica [9].

Con respecto a sus propiedades fisicoquímicas, el berilio destaca por ser una de las sustancias sólidas químicamente estables más ligeras y tiene, además, un inusual elevado punto de fusión. Presenta una densidad muy baja y una relación resistencia-peso muy elevada, así como unas excelentes conductividades eléctrica y térmica. Sin embargo, su relativa fragilidad restringe el uso del berilio metálico a aplicaciones especializadas. Por otro lado, debido a su bajo número atómico, el berilio es muy permeable a los

ÍNDICE

Qué es y dónde se puede encontrar

Efectos para la salud

Dónde se puede dar la exposición

Evaluación de la exposición

Control de la exposición

Medidas higiénicas

Vigilancia de la salud

Otras medidas preventivas

Referencias





rayos X. Destaca por sus propiedades físicas nucleares, que hace que pueda ser empleado como fuente de neutrones.

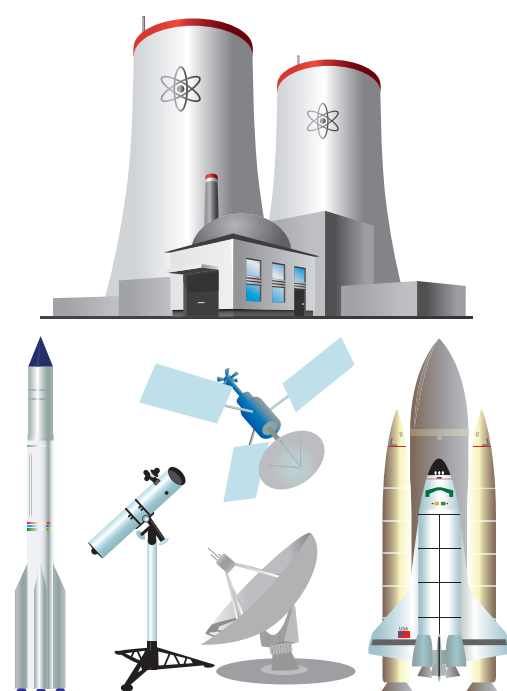
Además, el berilio presenta numerosas propiedades químicas en común con el aluminio. De este modo, el berilio es anfótero y, como el aluminio, muestra una elevada afinidad por el oxígeno, sufriendo el proceso denominado *pasivado*. Así, en exposición al aire o al vapor del agua, se forma una fina capa de óxido de berilio sobre la superficie del metal, proporcionándole una elevada resistencia a la corrosión, al agua fría y caliente y a los ácidos oxidantes [9].

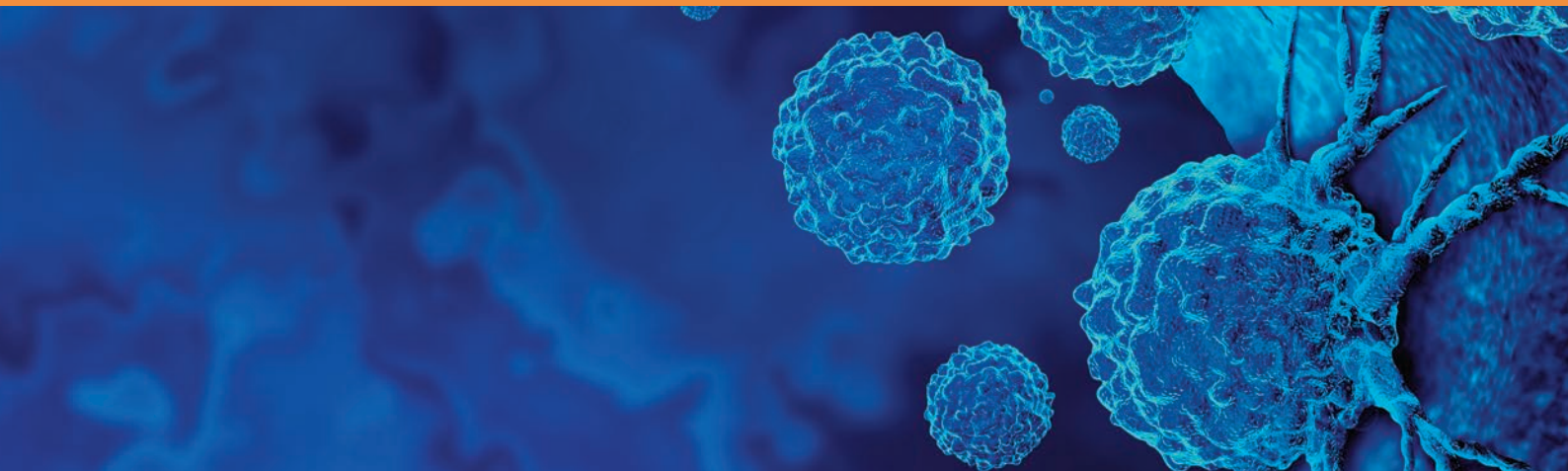
Actualmente, solo Estados Unidos, China y Kazajstán procesan cantidades comercialmente viables de berilio a partir de minerales para obtenerlo en su forma metálica u otros materiales que contienen berilio; otros países productores de berilio son Brasil y varias naciones de África, como Nigeria, Madagascar y Mozambique. Se espera que el mercado del berilio crezca considerablemente debido a la buena demanda de los mercados de infraestructuras informáticas y de telecomunicaciones y al creciente mercado de la electrónica del automóvil y de los mercados emergentes de Asia y América Latina [23].

El berilio está registrado de conformidad con el *Reglamento (CE) n° 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo de 18 de diciembre de 2006 relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos* (en adelante, REACH), y algunos de sus usos encuentran restricciones en su anexo XVII. Se fabrica y/o importa en la Unión Europea en cantidades de entre 10 a 100 toneladas anuales, empleándose en diferentes productos, por personas trabajadoras profesionales (usos generalizados), en formulación o reenvasado y en instalaciones industriales [5].

De este modo, y debido a sus propiedades, las actividades con mayor riesgo de exposición al berilio las vamos a encontrar en la minería del berilio, fabricación de aleaciones de berilio, en la industria del fósforo, de la cerámica, la joyería, en la industria eléctrica y electrónica, así como en la fabricación de misiles y en reactores nucleares [22].

El berilio es un metal con unas características fisicoquímicas muy especiales. Es una de las sustancias sólidas químicamente estables más ligeras y tiene además un inusual elevado punto de fusión, una densidad muy baja y una relación resistencia-peso muy elevada. Presenta unas excelentes conductividades eléctrica y térmica e importantes propiedades físicas nucleares, lo que hace que tenga numerosas aplicaciones industriales.





Efectos para la salud

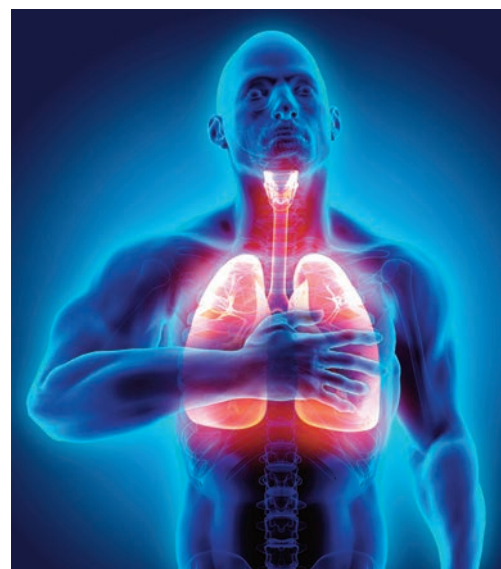
La *Directiva (UE) 2019/983 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019, por la que se modifica la Directiva 2004/37/CE, relativa a la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes carcinógenos o mutágenos durante el trabajo* indica en su exposición de motivos, considerando 19, que el berilio y la mayoría de los compuestos inorgánicos del berilio cumplen los criterios para ser clasificados como agentes carcinógenos (de categoría 1B) de conformidad con el *Reglamento (CE) n° 1272/2008, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas* (en adelante denominado CLP, acrónimo de clasificación, etiquetado y envasado de sus siglas en inglés), por lo que son carcinógenos en el sentido de la Directiva 2004/37/CE y que, además de tener propiedades carcinógenas, provoca beriliosis crónica y sensibilización al berilio.

La exposición laboral a berilio puede causar enfermedad sistémica por inhalación. Tras su absorción en los pulmones puede distribuirse extensamente por todo el cuerpo afectando a todo el organismo, aunque el órgano más afectado suele ser el pulmón.

Efectos cancerígenos

El berilio está clasificado como **carcinógeno del Grupo 1 por la IARC**, lo que significa que es cancerígeno para el ser humano, debido a la existencia de evidencias suficientes de su carcinogenicidad en este y, conforme al Reglamento CLP, como cancerígeno de **categoría 1B**, lo que indica que se supone cancerígeno para el ser humano, en base a la existencia de pruebas en animales (tabla 1).

Por otro lado, la clasificación internacional de enfermedades (10ª revisión), CIE-10, incluye al berilio en la categoría C34 (provoca **neoplasia maligna de bronquio y pulmón**), y el *Real Decreto 1299/2006, de 10 de noviembre, por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social y se establecen criterios para su notificación y registro* lo contempla en el grupo 6 (enfermedades profesionales causadas por agentes carcinógenos) del anexo I, como agente causante de **neoplasia maligna de bronquio y pulmón en actividades relacionadas con la manipulación y empleo del berilio y sus compuestos** (fluoruro doble de glucinio y sodio) (tabla 2).





La IARC es una agencia autónoma de la Organización Mundial de la Salud de las Naciones Unidas. Su objetivo es promover la colaboración internacional en la investigación del cáncer. Dirige estudios ampliamente reconocidos por su calidad y su independencia.

Así, varios estudios han puesto de manifiesto un aumento de la mortalidad por cáncer de pulmón asociado a la exposición a berilio. Se considera que estos estudios proporcionan pruebas de su carcinogenicidad en humanos. La muerte por cáncer de pulmón se correlacionó con el tiempo transcurrido desde el inicio de la actividad laboral y la enfermedad previa por berilio, pero no con la duración del empleo. Se demostró que la exposición a altas concentraciones de berilio (por encima de $1.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$), que se considera un factor desencadenante de la **enfermedad crónica por berilio** (CBD, por sus siglas en inglés), se asocia con un riesgo significativamente mayor de cáncer de pulmón [6].

Beriliosis crónica y sensibilización al berilio

La exposición laboral puede ocasionar también **sensibilización al berilio** (BeS, por sus siglas en inglés). Se trata de una activación de la respuesta inmunitaria del organismo al berilio. Puede producirse por inhalación o exposición cutánea al polvo, humo, niebla o soluciones de berilio. Aunque puede no haber síntomas clínicos asociados con la sensibilización, una persona trabajadora sensibilizada está en riesgo de desarrollar a su vez CBD, también llamada "enfermedad del berilio" o "beriliosis", cuando ha habido exposición por inhalación al berilio. Consiste en una enfermedad pulmonar granulomatosa crónica causada por la inhalación de berilio en el aire tras sensibilizarse al mismo. Algunos síntomas comunes de la CBD son: dificultad para respirar, tos inexplicable, fatiga, pérdida de peso, fiebre y sudores nocturnos. Su progresión puede variar entre individuos [17].

La CBD puede progresar hasta convertirse en un trastorno pulmonar obstructivo crónico, con la consiguiente pérdida de calidad de vida y disminución de la esperanza de vida. La CBD comparte muchos signos y síntomas con la sarcoidosis pulmonar, una enfermedad pulmonar granulomatosa de causa u origen desconocidos. Sin un diagnóstico adecuado, la CBD puede ser difícil de distinguir de la sarcoidosis [17].

Enfermedad aguda por berilio

La exposición laboral puede dar lugar, además, a la "enfermedad aguda por berilio" (ABD, por sus siglas en inglés).

Consiste en una forma de neumonía química de aparición rápida que resulta de la inhalación única a altas concentraciones de berilio en el aire,

Tabla 1.
Clasificación de peligrosidad armonizada del berilio, según el Reglamento (CE) n° 1272/2008, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas (CLP)

Berilio. (N° CAS: 7440-41-7; N° CE: 231-150-7)

Códigos de clase y categoría de peligro	Códigos de indicaciones de peligro
Carcinogenicidad: Carc. 1B	H350: Puede provocar cáncer por inhalación.
Toxicidad aguda: Tox. ag. 2	H330: Mortal en caso de inhalación.
Toxicidad aguda: Tox. ag. 3	H301: Tóxico en caso de ingestión.
Toxicidad específica en determinados órganos (exposición única): STOT única 3	H335: Puede irritar las vías respiratorias.
Toxicidad específica en determinados órganos (exposiciones repetidas): STOT repe. 1	H372: Provoca daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas.
Irritación ocular: Irrit. oc. 2	H319: Provoca irritación ocular grave.
Irritación cutánea: Irrit. cut. 2	H315: Provoca irritación cutánea.
Sensibilización cutánea: Sens. cut. 1	H317: Puede provocar una reacción alérgica en la piel.

Etiquetado. Pictogramas y palabras de advertencia

Peligro





iguales o superiores a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y que puede ser mortal en el 10 % de los casos.

En la actualidad, la ABD es poco habitual en los lugares de trabajo debido a las medidas preventivas que suelen aplicarse para el control de la exposición [17].

Efecto acumulativo. Toxicocinética.

El berilio, tras ser absorbido, llega a la sangre, que es el principal vehículo de transporte de los tóxicos y sus metabolitos. Las fracciones pequeñas son transportadas por los eritrocitos y una vez en el organismo presenta una fuerte afinidad por los huesos y el tejido conectivo (elemento osteotrópico o "buscador de huesos") [24].

En consecuencia, la exposición prolongada al berilio puede dar lugar al almacenamiento de cantidades apreciables en los tejidos pulmonares y en el esqueleto, donde se acumula. La eliminación del berilio absorbido se produce principalmente por la orina, y en menor cantidad por las heces [15]. Esta liberación es lenta y puede producirse durante un período de entre 20 a 30 años. En la CBD, la latencia de la enfermedad puede oscilar entre 1 y 30 años, aunque generalmente se produce entre los 10 y 15 años después de la primera exposición [3].

Otros efectos sobre la salud

En el tracto gastrointestinal se absorben cantidades pequeñas de berilio. Además, puede causar **irritación cutánea** y su penetración en el tejido subcutáneo puede causar irritación local y formación de granulomas [3].

Además, las sales ácidas del berilio causan **dermatitis alérgica de contacto**. Estas lesiones pueden ser eritematosas, papulosas o papulovesiculares, generalmente pruriginosas, y se encuentran en las partes expuestas del cuerpo. Puede existir una diferencia de dos semanas entre la primera exposición y la aparición de la dermatitis, excepto en el caso de exposiciones intensas, en las que puede producirse una reacción irritativa inmediata. Este intervalo se considera el tiempo necesario para desarrollar el estado de hipersensibilidad.

También puede producir **conjuntivitis** que, junto con la dermatitis, pueden desarrollarse de forma aislada o conjuntas. En los casos de conjuntivitis, el edema periorbitario puede ser intenso [3].





Dónde se puede dar la exposición

Se estima que alrededor de 66.000 personas trabajadoras en la UE se encuentran potencialmente expuestas al berilio [22].

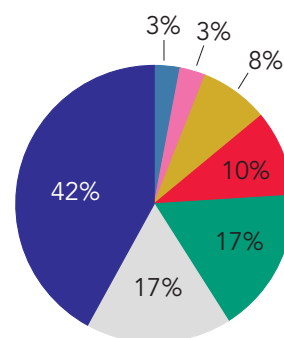
Debido sus propiedades fisicoquímicas, el berilio es empleado en la industria en aplicaciones muy específicas, como en diagnósticos médicos, reactores nucleares o aplicaciones aeroespaciales en las que se requieren estructuras ligeras resistentes a la deformación bajo altas tensiones y/o temperaturas. Dependiendo del estado o la especie en los que se presente, sus aplicaciones son diferentes.

Así, el **berilio puro** se utiliza en frenos de disco de aviones, en la fabricación de ventanas de rayos X, óptica e instrumentos de vehículos espaciales, en estructuras de aviones y satélites, piezas de misiles, reflectores de neutrones de reactores nucleares, armas nucleares, contenedores de combustible, instrumentos de precisión, propulsores de cohetes, sistemas de navegación, escudos térmicos, espejos, ordenadores de alta velocidad y componentes de audio, entre otros [6].

Cuando el berilio se emplea como componente de una **aleación** con cobre, aluminio u otros metales, aumenta su rigidez, resistencia a la corrosión y elasticidad, aportando una baja densidad. Por ello, se emplean como materiales ligeros que deben soportar grandes aceleraciones o fuerzas centrífugas. De este modo, se utilizan para la fabricación de bobinas de relojes, instrumentos quirúrgicos y de precisión, muelles de válvulas, frenos de aeronaves y materiales para resistir altas temperaturas, así como para aplicaciones especiales en la electrónica (conectores y relés), industrias de automoción, defensa y aeroespacial, en las carreras de automóviles para piezas de motores, engranajes y sistemas de frenado, en equipos deportivos especiales, dispositivos de telecomunicaciones, ordenadores, aleaciones dentales y en muchas otras aplicaciones [6].

Por su parte, el **óxido de berilio** es el compuesto comercial de berilio más importante en cuanto a volumen de producción. Se utiliza en equipos de funcionamiento a alta temperatura, en cerámica de alta tecnología, como material aislante, disipadores de calor electrónicos, aislantes eléctricos, componentes de hornos microondas, giroscopios, blindaje de vehículos militares, crisoles especiales, combustibles de reactores nucleares, tubos termopares, componentes estructurales de equipos láser, sustratos para circuitos eléctricos de alta densidad, sistemas de encendido de automóviles, bujías de encendido de aviones, como aditivo para vidrio, cerámica y plásticos, y como sistemas de contramedidas electrónicas de radar.

El Real Decreto 1299/2006 de 10 de noviembre, por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social y se establecen criterios para su notificación y registro, recoge las actividades con exposición a berilio que pueden dar lugar a la aparición de la enfermedad profesional (tabla 2).



- Componentes industriales: metal
- Componentes industriales: moldes
- Aplicaciones energéticas
- Transporte y defensa: componentes aeroespaciales
- Transporte y defensa: componentes para automóviles
- Transporte y defensa: componentes electrónicos para vehículos
- Equipamientos electrónicos y de telecomunicaciones

Usos finales del berilio en la UE [23]



También se utiliza en la producción de otros compuestos de berilio y como catalizador para reacciones orgánicas. En el pasado, el óxido de berilio se utilizaba en la fabricación de fósforos para lámparas fluorescentes. El **cloruro de berilio** se utiliza como catalizador ácido en reacciones orgánicas, pero principalmente para fabricar berilio metálico por electrólisis en el laboratorio [6].

Por todo ello, la exposición laboral al berilio se produce en muy diversas industrias, la mayoría durante la producción de berilio metal y aleaciones que contienen berilio, siendo los procesos con mayor probabilidad de generar berilio en el aire aquellos relacionados con la fundición, el moldeado, el trabajo en caliente o la abrasión de materiales que contienen berilio [6].

En resumen, las personas trabajadoras con mayor potencial de exposición son las empleadas en **procesos de minería, producción de aleaciones de berilio, fabricación de fósforo, producción de cerámica, reactores nucleares, producción de equipos eléctricos y electrónicos, técnicos de misiles y en joyería** [6].

Para más información, se puede consultar la tabla de Clasificación Nacional de Ocupaciones (CNO) y la tabla de la Clasificación Nacional de Actividades Económicas (CNAE) para el berilio en la base de datos INFORCARQUIM del INSST, las cuales recogen aquellas actividades en las que se da la presencia de berilio.

Evaluación de la exposición

El art. 3 del *Real Decreto 374/2001, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo*, establece que la evaluación de los riesgos derivados de la exposición por inhalación a un agente químico peligroso deberá incluir la medición de las concentraciones del agente en el aire, en la zona de respiración de la persona trabajadora, y su posterior comparación con el valor límite ambiental que corresponda. El procedimiento de medición utilizado deberá adaptarse, por tanto, a la naturaleza de dicho valor límite.

Por su parte, el *Real Decreto 665/1997 sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos, mutágenos o reprotóxicos durante el trabajo* establece en su art.

Tabla 2.
Enfermedades profesionales y actividades derivadas de la exposición al berilio
Fuente: Anexo I Real Decreto 1299/2006

Grupo 1. Enfermedades profesionales causadas por agentes químicos. Metales: Berilio (glucinio) y sus compuestos

Grupo 4. Enfermedades profesionales causadas por inhalación de sustancias y agentes no comprendidas en otros apartados: Berilio (glucinio) y sus compuestos

Grupo 6. Enfermedades profesionales causadas por agentes carcinógenos. Berilio: NEOPLASIA MALIGNA DE BRONQUIO Y PULMÓN

En todos los grupos: Manipulación y empleo del berilio y sus compuestos (fluoruro doble de glucinio y sodio), y especialmente:

Extracción y metalurgia de berilio, industria aeroespacial, industria nuclear.

Extracción del berilio de los minerales.

Preparación de aleaciones y compuestos de berilio.

Fabricación de cristales, cerámicas, porcelanas y productos altamente refractarios.

Fabricación de barras de control de reactores nucleares.



3 que, identificados uno o más riesgos relacionados con la exposición a estos agentes durante el trabajo, se procederá, para aquellos que no hayan podido evitarse, a evaluar los mismos determinando la naturaleza, el grado y la duración de la exposición de las personas trabajadoras. Esta evaluación deberá tener en cuenta especialmente toda posible vía de entrada al organismo o tipo de exposición, incluidas las que se produzcan por absorción a través de la piel o que afecten a esta.

El Real Decreto 665/1997 incorporó, mediante el *Real Decreto 395/2022* que lo modifica, un valor límite vinculante de $0,0002 \text{ mg/m}^3$ de exposición diaria para el berilio, añadiendo la observación "sensibilización cutánea y respiratoria" (tabla 3).

Se debe aclarar que la Directiva reconoce que es previsible que resulte difícil cumplir a corto plazo el valor límite de $0,0002 \text{ mg/m}^3$ en algunos sectores, estableciendo por ello un período transitorio de siete años durante el cual se podría aplicar un valor límite de $0,0006 \text{ mg/m}^3$. Sin embargo, conforme al criterio técnico del Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, esta medida no ha sido adoptada en su trasposición al ordenamiento jurídico español.

Referencias normativas

Mediante el *Real Decreto 395/2022*, de 24 de mayo, por el que se modifica el *Real Decreto 665/1997*, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos, mutágenos o reprotóxicos durante el trabajo, y que traspone la Directiva (UE) 2019/983 del Parlamento Europeo y del Consejo al ordenamiento jurídico español, se introdujo un valor límite para el berilio y sus compuestos inorgánicos (tabla 3).

Tabla 3.
Valores límite de exposición profesional. Real Decreto 665/1997.

Nombre del agente	Nº CE ⁽¹⁾	Nº CAS ⁽²⁾	Valores límite de exposición diaria ⁽³⁾	Observaciones
Berilio	231-150-7	7440-41-7	$0,0002 \text{ mg/m}^3$ ⁽⁴⁾	Sensibilización cutánea y respiratoria ⁽⁵⁾

¹ El número CE, es decir, EINECS, ELINCS o de "ex polímero (NLP)", es el número oficial de la sustancia en la Unión Europea, tal como se define en la sección 1.1.1.2 del anexo VI, parte 1, del Reglamento (CE) nº 1272/2008.

² Nº CAS: Número de registro del Chemical Abstracts Service (Servicio de resúmenes de productos químicos).

³ Medido o calculado en relación con una media ponderada temporalmente con un período de referencia de ocho horas.

⁴ mg/m^3 = miligramos por metro cúbico de aire a 20 °C y 101,3 kPa (760 mm de presión de mercurio).

⁵ La sustancia puede provocar sensibilización cutánea y de las vías respiratorias.



Dicho criterio se sustenta en que el documento “Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos en España”, elaborado por el INSST, ya establecía desde hace años un VLA-ED⁶ (Valor límite ambiental de Exposición Diaria) para el berilio de 0,0002 mg/m³ con las notas: Sen y r, siendo, por tanto, de obligado cumplimiento en España desde entonces. En el año 2017 el documento LEP añadió la nota C1B para el Berilio (se supone que es un carcinógeno para el hombre, en base a la existencia de pruebas en animales. Es de aplicación el Real Decreto 665/1997) y, en el 2023, añadió la nota “v” (Agente cancerígeno con valor límite vinculante recogido en el anexo III del Real Decreto 665/1997 y en sus modificaciones posteriores) (tabla 4).

Por otro lado, para llevar a cabo la evaluación cuantitativa de la exposición a berilio y poder verificar la conformidad con estos valores límite, los métodos analíticos que se utilicen en la determinación de contaminantes ambientales deben cumplir unos requisitos generales para los procedimientos de medida, como los recogidos en la norma UNE-EN 482:2021: *Exposición en el lugar de trabajo. Procedimientos para la determinación de la concentración de los agentes químicos. Requisitos generales relativos al funcionamiento*.

Por tanto, la evaluación de la exposición a agentes químicos requiere disponer de métodos de toma de muestra y análisis que permitan conocer la concentración de los contaminantes en el aire del ambiente de trabajo.

Representatividad de las muestras

Siempre que se realice una evaluación cuantitativa de la exposición por inhalación a un agente químico peligroso se ha de seguir una estrategia de muestreo que garantice la representatividad de los datos obtenidos. La norma UNE-EN 689:2019+AC:2019 *Exposición en el lugar de trabajo. Medición de la exposición por inhalación de agentes químicos. Estrategia para verificar la conformidad con los valores límite de exposición profesional*, propone una posible estrategia para comparar la exposición diaria con los valores límite de exposición profesional.

Tabla 4.
Valores Límite Ambientales (VLA)⁶.

N° CE	N° CAS	Agente Químico	Valores Límite		Notas	Indicaciones de peligro (H)
			VLA-ED ⁶	VLA-EC ⁶		
231-150-7	7440-41-7	Berilio	0,0002 mg/m ³	-	C1B, Sen, r, v	350i-330-301-372-319-335-315-317

⁶ Fuente: Documento “Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos en España, 2024. INSST”.

C1B: Se supone que es un carcinógeno para el hombre, en base a la existencia de pruebas en animales. Es de aplicación el Real Decreto 665/1997.

r: Esta sustancia tiene establecidas restricciones a la fabricación, la comercialización o el uso en los términos especificados en el Reglamento (CE) n° 1907/2006 sobre registro, evaluación, autorización y restricción de sustancias y mezclas químicas (REACH) de 18 de diciembre de 2006 (DOUE L 369 de 30 de diciembre de 2006). Las restricciones de una sustancia pueden aplicarse a todos los usos o sólo a usos concretos. El anexo XVII del Reglamento REACH contiene la lista de todas las sustancias restringidas y especifica los usos que se han restringido.

Sen: Sensibilizante. Véase Capítulo 6 del documento LEP.

V: Agente cancerígeno con valor límite vinculante recogido en el anexo III del Real Decreto 665/1997 y en sus modificaciones posteriores.



En este caso existen diferentes métodos validados para la toma de muestras y análisis del berilio en el aire del ambiente de trabajo. Estos métodos se basan en la recogida de aire en filtros, que se digieren y a los cuales se les aplican diferentes técnicas analíticas como pueden ser la espectroscopía de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente (ICP-AES), la espectroscopía de emisión atómica con plasma de argón acoplado inductivamente (ICAP-AES), la espectroscopía de absorción atómica en horno de grafito (GF-AAS) o la fluorimetría UV/Vis portátil [6].

El INSST dispone del método validado *MTA/MA – 065/A16: Determinación de metales y sus compuestos iónicos en aire. Método de captación de filtro/espectrometría de emisión atómica por plasma acoplado inductivamente con detector óptico (ICP-AES)*.

Adicionalmente, otros organismos internacionales disponen de diversos métodos validados, como el método 1023 (versión 1.0 de junio de 2018), de la OSHA (*Occupational Safety and Health Administration, USA*), o el método 7704 de NIOSH (*The National Institute for Occupational Safety and Health, USA*), publicado en diciembre de 2015. No obstante, cabe indicar que dichos métodos no están validados según las normas europeas de referencia (UNE-EN ISO 21832:2021 y EN 482:2021) [6]. Además, existen tres métodos ISO pertinentes [6]: ISO 10882-1:2011; ISO 15202-3:2004 e ISO 30011:2010.

En la página web de IFA (*Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance*), que recoge los métodos analíticos de los agentes químicos en los lugares de trabajo, se pueden consultar los métodos de evaluación que se proponen para el berilio.

Control de la exposición

Las medidas de prevención de la exposición a agentes cancerígenos, como el berilio, se deben aplicar según un orden de prioridad en función de su efectividad. Los artículos 4 y 5 del Real Decreto 665/1997 recogen las obligaciones de la empresa a este respecto.

La primera opción debe ser siempre la sustitución del agente y, cuando no se pueda realizar, se estudiará la posibilidad de trabajar en un sistema cerrado.

Cuando tampoco sea posible trabajar en un sistema cerrado, hay que recurrir a todas las medidas que sean necesarias para reducir la exposición

Orden de prioridad de las actuaciones preventivas para agentes cancerígenos:

1. Sustitución.
2. Cerramiento del proceso.
3. Reducción de la exposición a un nivel tan bajo como sea técnicamente posible.
4. Equipos de Protección Individual.



a un nivel tan bajo como sea técnicamente posible. Por último, si las medidas anteriores no fuesen suficientes, se recurrirá a los equipos de protección individual (EPI).

1. Sustitución del agente químico

La medida prioritaria, y obligatoria siempre que sea factible, cuando se trabaja con agentes cancerígenos, es siempre la sustitución por otro agente u otro proceso que no sea peligroso o lo sea en menor grado. Así lo establece el art. 4 del Real Decreto 665/1997.

Además, el art. 10 de este real decreto obliga a la empresa a suministrar a las autoridades laborales y sanitarias, cuando estas lo soliciten, la información adecuada sobre los criterios y resultados del proceso de sustitución de los agentes a que se refiere el mencionado art. 4.

Usos	Porcentajes	Sustitutos	Comentarios
Equipamientos electrónicos y de comunicaciones	42%	Aleación de cobre, níquel y estaño Aleación titanio-cobre Aleación de cobre, níquel y silicio Aleación de cobre, plomo y estaño Aluminio/Plomo/Manganeso Aleación cobre-hierro-fósforo Aleación cobre-estaño-fósforo Silicio Nitruro de boro	Rendimientos reducidos. Costes similares
Transporte y defensa: componentes electrónicos para vehículos	17%	Aleación de cobre y zinc Aleación de cobre y estaño Aleación cobre-níquel-estaño Aleación de cobre, plomo y estaño Aluminio/plomo/manganeso Aleación cobre-hierro-fósforo Aleación cobre-níquel-silicio	Rendimientos reducidos. Costes similares
Transporte y defensa: componentes para automóviles	17%	Aleaciones de aluminio Aleaciones de magnesio Compuestos de matriz metálica de aluminio Aleaciones de titanio Materiales compuestos reforzados con carbono	Costes similares. Rendimiento similar
Transporte y defensa: componentes aeroespaciales	10%	Aleación de cobre, níquel y estaño Aleaciones de aluminio Compuestos de matriz metálica de aluminio Aleaciones de titanio Aleaciones de magnesio Materiales compuestos reforzados con carbono	

Usos del berilio y posibles sustitutos [23]



La medida de sustitución es la más difícil de aplicar, sobre todo cuando un proceso productivo ya está implantado y se deben tener en cuenta muchas variables, pero se debe planificar y ejecutar siempre que sea viable, aunque tenga mayor coste, siendo necesario permanecer al día en cuanto a los avances tecnológicos de cada sector relacionados con posibles sustitutos.

La sustitución puede estar basada en el cambio de un agente por otro menos peligroso o en un cambio en los procedimientos y procesos. En cualquier caso, siempre se deben valorar los nuevos riesgos que pueden introducirse con la sustitución.

Existen diversas herramientas útiles de ayuda para llevar a cabo el proceso de sustitución. En el *apéndice 2. Sustitución de agentes cancerígenos o mutágenos*, de la *Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos o mutágenos durante el trabajo*, elaborada por el INSST, se ofrece importante información de interés a este respecto.

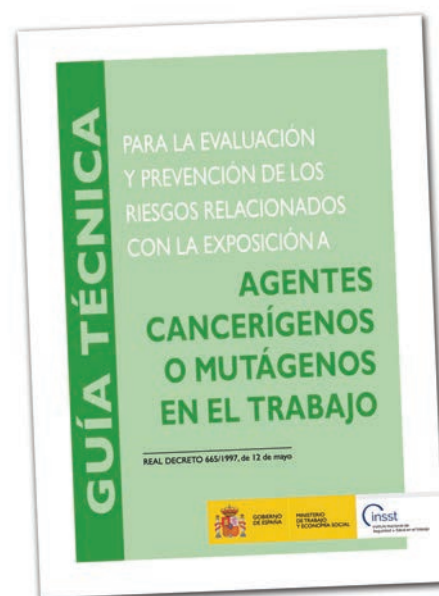
En el caso del berilio, la sustitución, generalmente, conlleva una pérdida de rendimiento en sus aplicaciones. Por este motivo, cuando el berilio se emplea para garantizar un alto rendimiento y fiabilidad en usos relacionados con la seguridad, como en el sector del transporte, la defensa o en aplicaciones energéticas, no puede sustituirse. En todos los casos, se produce una reducción del rendimiento que puede ser significativo, especialmente cuando la combinación de sus propiedades redunda en beneficio y seguridad de la sociedad [7].

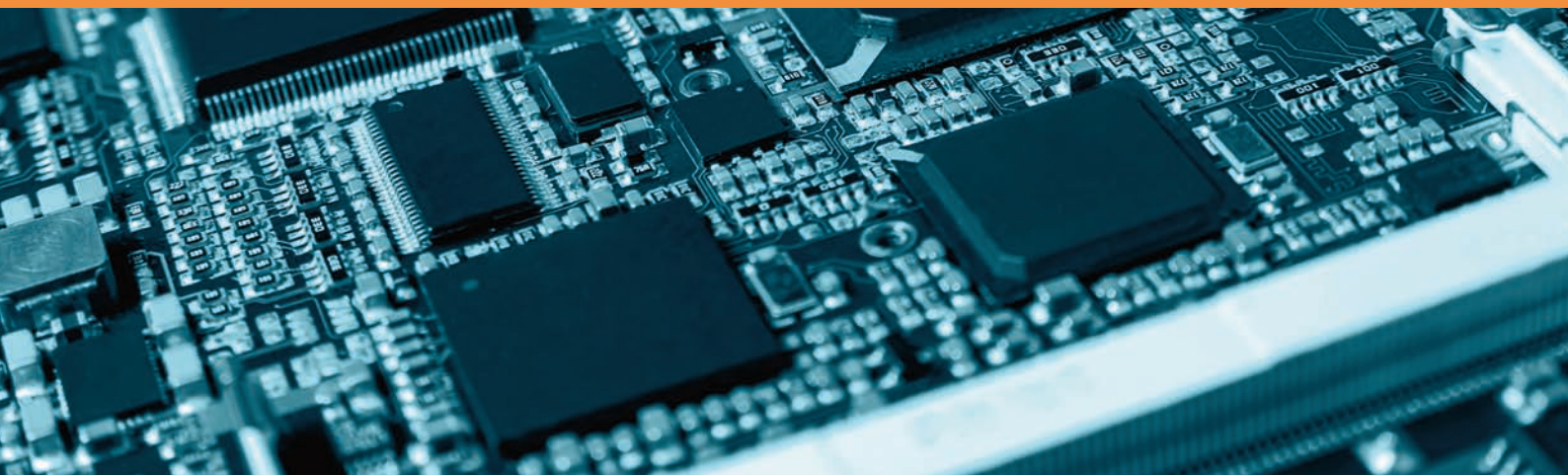
Por tanto, la proporción de aplicaciones en las que el berilio puede sustituirse por otros materiales es extremadamente baja (menos del 10 %). Paralelamente a la sustitución, la reducción de la cantidad de berilio utilizado en sus aplicaciones tampoco es factible, ya que, en la práctica, debido a su elevado precio en relación con otros metales, sólo es utilizado cuando resulta absolutamente necesario. Además, el uso más frecuente del berilio se produce en las aleaciones de cobre y berilio, que solo contienen entre un 0,5 % y un 2 % de berilio [7].

En consecuencia, la sustitución del berilio metálico o de aleaciones de AlBe con más del 50% de Be solo resulta posible en aplicaciones menos exigentes, cuando la fiabilidad no es determinante y las pérdidas de rendimiento son aceptables. En esos casos pueden aplicarse en su lugar aleaciones de titanio, magnesio, aluminio o compuestos de fibra de carbono. Para aplicaciones en las que las propiedades térmicas del berilio son relevantes, se pueden utilizar en su lugar compuestos de matriz metálica de aluminio junto con carburo de silicio o/y nitruro de boro [25].

El INSST es el encargado de elaborar Guías Técnicas, no vinculantes, para facilitar la aplicación de los Reales Decretos de desarrollo de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales. En concreto, se puede consultar en su página web www.insst.es en el apartado de "Documentación > Material normativo > Guías técnicas > Específicas", la Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos o mutágenos durante el trabajo.

En el *apéndice 2* de esta Guía Técnica se recogen una serie de orientaciones sobre cómo afrontar el proceso de sustitución de un agente cancerígeno o mutágeno.





Por su parte, las aleaciones de CuBe y NiBe con un contenido de Be inferior al 2% solo pueden sustituirse cuando se reconozca una reducción de la seguridad o una pérdida de rendimiento [25]. En este caso, los materiales alternativos incluyen cobre-níquel-silicio, cobre-hierro, bronce fosforado o cobre-aleaciones de titanio. En algunas aplicaciones, cuando el berilio se utiliza para estructuras, en óptica o en aplicaciones electrónicas de gestión térmica puede sustituirse por materiales compuestos híbridos como polímeros o materiales compuestos de matriz metálica [25].

2. Cerramiento del proceso

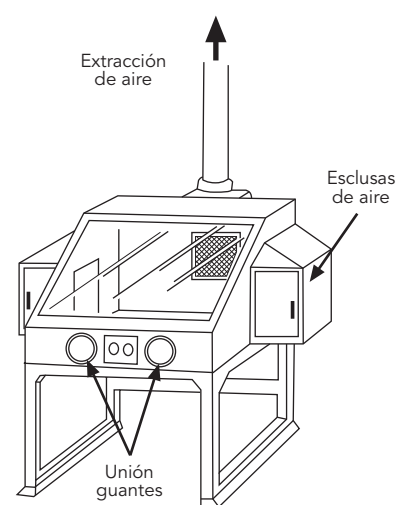
El art. 5.2 del Real Decreto 665/1997 establece que, en caso de que no sea técnicamente posible sustituir el agente cancerígeno, mutágeno o reprotóxico, la empresa garantizará que su producción y utilización se lleve a cabo en un sistema cerrado. Se trata, por tanto, de la primera opción tecnológica para la prevención y reducción de la exposición, que se diseñará preferentemente a presión negativa. Esta medida consiste en evitar la dispersión del agente en el aire que respira la persona trabajadora, situando el proceso dentro de un sistema cerrado con evacuación del aire pretratado a un entorno seguro para evitar que los agentes dañen el medio ambiente o la salud pública.

Los sistemas cerrados y estancos no solamente eliminan la exposición, sino que, además, evitan la exposición a productos intermedios del proceso. No obstante, se deberá asegurar un adecuado programa de mantenimiento preventivo y, cuando sea posible, predictivo de estos sistemas para minimizar los posibles fallos que puedan dar lugar a un riesgo de exposición.

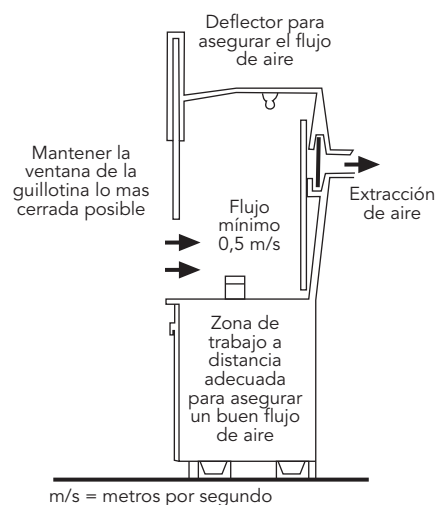
El INSST ofrece en su página web acceso a las Fichas de Control de Agentes Químicos (FCAQ), elaboradas por el *Health and Safety Executive (HSE, UK)* de su modelo COSHH Essentials. Estas fichas proporcionan recomendaciones básicas de buenas prácticas de trabajo para distintas operaciones a fin de controlar la exposición a sustancias químicas peligrosas en el entorno laboral. La serie 300: *contención (sistemas cerrados)* resulta de especial ayuda en este caso.

3. Reducción de la exposición a un nivel tan bajo como sea técnicamente posible

El art. 5.3 del Real Decreto 665/1997 determina que, cuando la aplicación de un sistema cerrado no sea técnicamente posible, la empresa garantizará que el nivel de exposición de las personas trabajadoras se reduzca a un nivel tan bajo como la técnica permita.



Ficha guía de control 301. Cabina de guantes. (FCAQ)



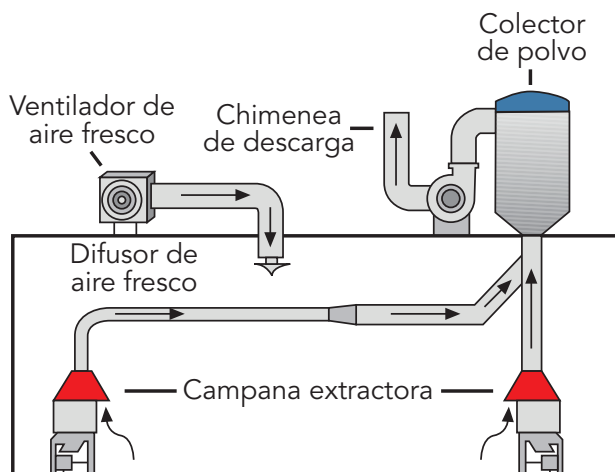
Ficha guía de control 201. Campana extractora (FCAQ).



Se trata, por tanto, de implantar medidas técnicas y organizativas de forma que la exposición se reduzca tanto como sea posible desde el punto de vista técnico. Esta obligación implica que no es suficiente con alcanzar niveles de exposición por debajo del límite de exposición profesional establecido, sino que hay que ir más allá, aplicando todas las medidas disponibles.

Además, en el art. 5.5 se establece que siempre que se utilice un agente cancerígeno, mutágeno o reprotóxico, la empresa aplicará todas las medidas necesarias recogidas en este artículo. En general, estas exigencias van en la misma línea que también establece el Real Decreto 374/2001, añadiendo la mención expresa de instalar dispositivos que detecten y alerten en caso de situaciones que puedan generar exposiciones anormalmente altas, como podría ser, por ejemplo, un fallo en el sistema de extracción localizada.

Las medidas encaminadas a reducir la exposición a un nivel tan bajo como sea técnicamente posible incluyen la limitación de las cantidades de estos agentes en el lugar de trabajo; diseñar los procesos de trabajo y las medidas técnicas con el objeto de evitar o reducir al mínimo la formación de estos agentes; limitar al menor número posible las personas trabajadoras expuestas o que puedan estarlo; evacuar los agentes en origen, mediante extracción localizada o, cuando ello no sea técnicamente posible, por ventilación general, en condiciones que no supongan un riesgo para la salud pública y el medio ambiente; utilizar los métodos de medición más adecuados, en particular para una detección inmediata de exposiciones anormales debidas a imprevistos o accidentes y aplicar los procedimientos y métodos de trabajo más adecuados.



Ejemplo de sistema de extracción localizada en operaciones con riesgo de exposición a berilio. Fuente: BeST [1].





Las series 100 (Ventilación general), 200 (Control Técnico) y 400 (Especial), de las FCAQ, contienen información práctica de interés que puede ayudar a la aplicación de estas medidas.

Además, para el caso específico del berilio, en la web “The Beryllium Science & Technology Association” (BeST), se pueden encontrar ejemplos prácticos de cerramiento del proceso y de sistemas de extracción localizada en distintas actividades con riesgo de exposición a berilio [1].

4. Equipos de protección individual (EPI)

Como norma general en prevención, los EPI deben utilizarse como último recurso, solo cuando se hayan puesto en práctica todas las medidas de prevención prioritarias y estas no sean suficientes.

Los resultados de la evaluación de riesgos serán la base para determinar la necesidad de utilizar EPI, así como para la selección de los equipos más adecuados. Además, en el momento de la selección, se debe tener en cuenta la anatomía de las personas trabajadoras que lo van a utilizar y, en el caso de los EPI basados en el ajuste facial, es muy recomendable realizar un test de ajuste específico a cada persona.

Las fichas de datos seguridad (FDS) de los productos y las fichas internacionales de seguridad química (FISQ), disponibles estas últimas en la página web del INSST, ofrecen, a su vez, información relevante con relación, entre otras cuestiones, a las medidas de protección individual a adoptar en la exposición a berilio, siendo estas las siguientes:

- Pantalla facial o protección ocular en combinación con protección respiratoria.
- Guantes y ropa de protección química.
- En caso de derrames o fugas, ropa de protección química y equipo autónomo de respiración.

Además, en la serie S: *Sustancias químicas que causan daño por contacto con la piel y con los ojos*, de las FCAQ, también se recogen fichas específicas para la selección de los equipos de protección individual (FCAQ S102), para la selección de los guantes de protección (FCAQ S101) y para el contacto con la piel y con los ojos (FCAQ S200).

En resumen, y teniendo en cuenta las vías de entrada al organismo del berilio y el tipo de actividad a desarrollar, los EPI deben incluir dispositivos de protección respiratoria y ropa de protección, guantes de protección química y máscara o protección ocular combinada con protección respiratoria en caso de presencia de berilio en forma de partículas.

Referencias normativas

Para la selección, el uso y el mantenimiento de los equipos de protección individual se deben cumplir las prescripciones establecidas en el *Real Decreto 773/1997, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual*.

Se puede encontrar más información al respecto en la *Guía Técnica para la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual*, elaborada por el INSST para aclarar los aspectos técnicos establecidos en dicho Real Decreto.



Los EPI y la ropa contaminados con berilio deben manipularse de forma que se evite que este se disperse en el aire: no deben agitarse, limpiarse con aire ni alterarse de otro modo antes de ser embolsados para su descontaminación. Los EPI desechables serán empaquetados, etiquetados y eliminados como residuos peligrosos.

Medidas higiénicas

Las medidas higiénicas cobran especial importancia en la prevención de la exposición a agentes cancerígenos como el berilio. Estas medidas tienen varios objetivos:

- Evitar que el agente penetre a través de la piel en caso de contactos accidentales.
- Evitar la extensión y la duración de la exposición por contacto con ropa o equipos de protección contaminados.
- Evitar la exposición secundaria de otras personas que puedan entrar en contacto con ropa o superficies contaminadas.

El Real Decreto 665/1997 establece en su art. 6 las medidas de higiene personal y protección individual que debe establecer la empresa, entre las que se encuentran:

- Prohibir comer, beber y fumar en las zonas de riesgo.
- Proveer ropa de protección u otro tipo de ropa apropiada.
- Disponer de lugares separados para guardar la ropa de trabajo y la de calle.
- Disponer de un lugar determinado para almacenar los EPI, verificar que se limpian y se comprueba su buen funcionamiento.
- Disponer de retretes y cuartos de aseo apropiados y adecuados.

Referencias normativas

El Real Decreto 1154/2020, que modificó el Real Decreto 665/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos, mutágenos o reprotóxicos durante el trabajo introdujo una nueva obligación al art. 6, por la cual las personas trabajadoras identificadas en la evaluación de riesgos como expuestas dispondrán, dentro de la jornada laboral, del tiempo necesario para su aseo personal, con un máximo de 10 minutos antes de la comida y otros 10 minutos antes de abandonar el trabajo. Este tiempo en ningún caso podrá acumularse ni utilizarse para fines distintos.

La empresa se responsabilizará del lavado y descontaminación de la ropa de trabajo, quedando rigurosamente prohibido que las personas trabajadoras se lleven dicha ropa a su domicilio para tal fin



Vigilancia de la salud

Los agentes cancerígenos, mutágenos o reprotóxicos se caracterizan, en general, por producir efectos a largo plazo o enfermedades con periodos de latencia largos. Debido a ello, el Real Decreto 665/1997 establece el derecho de las personas trabajadoras expuestas a estos agentes a la prolongación de la vigilancia de la salud más allá de la finalización de la exposición o de la relación laboral.

Para que el programa de vigilancia de la salud sea específico a los riesgos derivados de la presencia de agentes químicos en el lugar de trabajo, el empresario debe facilitar información de estos riesgos y las FDS a la unidad básica de salud (UBS).

Actualmente se dispone del protocolo elaborado por el Ministerio de Sanidad: *“Protocolización de la vigilancia sanitaria específica de las personas con riesgo de exposición laboral a productos químicos”* [16]. Esta guía para la vigilancia de la salud es de aplicación a las personas trabajadoras que estén expuestas a riesgos que puedan derivarse de la presencia de agentes químicos en el lugar de trabajo o de cualquier actividad profesional con agentes químicos y, en general, a quienes tengan riesgo de exposición a sustancias y mezclas, según quedan definidas en el Reglamento CLP. Este protocolo aporta un modelo de ficha y una propuesta sobre los datos que pueden incluirse en los diferentes apartados de esta para llevar a cabo la vigilancia específica de la salud para el agente químico en cuestión, en este caso, el berilio [16].

Para determinar cómo se llevará a cabo la vigilancia específica de la salud es necesario partir del conocimiento del puesto de trabajo, que debe quedar plasmado en forma de descripción detallada en la historia clínico-laboral de la persona trabajadora. Esto quiere decir que se debe consignar qué hace la persona, dónde y cómo lo hace, qué sustancias utiliza, cuándo lo hace, durante cuánto tiempo y con qué medidas de protección cuenta, tanto colectivas como individuales. Además, la persona especialista en medicina del trabajo deberá disponer de la evaluación de riesgos, en la cual estará identificado el berilio como sustancia a la que pueden estar expuestas las personas trabajadoras. Los resultados de la evaluación de riesgos deben quedar recogidos en la historia clínico-laboral de la persona trabajadora [16].

La evaluación de riesgos deberá integrar la exposición al berilio y la información contenida en las FDS, teniendo en cuenta las características de la

Referencias normativas sobre vigilancia de la salud

Las actividades de vigilancia de la salud se efectuarán de acuerdo con las condiciones y características establecidas en:

- El artículo 8 del Real Decreto 665/1997.
- El artículo 22 de la LPRL.
- El Real Decreto 843/2011, de 17 de junio, por el que se establecen los criterios básicos sobre la organización de recursos para desarrollar la actividad sanitaria de los servicios de prevención.

Esta vigilancia de la salud debe llevarse a cabo (Real Decreto 665/1997, art. 8):

- Antes del inicio de la exposición.
- A intervalos regulares, con la periodicidad que los conocimientos médicos aconsejen.
- Cuando sea necesario por haberse detectado en algún trabajador de la empresa, con exposición similar, algún trastorno que pueda deberse a la exposición a estos agentes.



exposición (tiempo de exposición, toxicidad del producto, etc.), con la parte correspondiente al resto de factores de riesgo del puesto de trabajo (ritmo de trabajo, temperatura, etc.), junto con los demás elementos que puedan ser determinantes, incluyendo las características de la persona (altura de la vía respiratoria, masa corporal, sexo, edad, condiciones que pueden suponer especial vulnerabilidad, etc.) [16].

Otras medidas preventivas

En los trabajos con riesgo por exposición a berilio se deberá cumplir otra serie de medidas establecidas en el Real Decreto 665/1997 en relación con:

- Exposiciones accidentales y no regulares (artículo 7).
- Obligaciones con respecto a la documentación (artículo 9), entre las que resulta importante recalcar la correspondiente lista actualizada de las personas trabajadoras encargadas de realizar las actividades respecto a las cuales los resultados de las evaluaciones revelen algún riesgo para la seguridad o la salud de las personas trabajadoras por exposición al berilio, indicando la exposición a la cual hayan estado sometidas en la empresa, así como la obligación de conservación de los historiales médicos individuales durante 40 años después de terminada la exposición.
- Información a las autoridades competentes (artículo 10.2) de todo caso de cáncer que se reconozca resultante de la exposición a berilio durante el trabajo.
- Consulta, información y formación a las personas trabajadoras (artículos 11 y 12).



Referencias

- [1] *Be Responsible Program, The. Beryllium Science and Technology Association (BeST, 2020).*
- [2] *CCOHS, (2023). Beryllium Health Effects.*



- [3] David, A., & Wagner, G. R. (2012). Capítulo 10. Aparato respiratorio. *Enciclopedia de Seguridad y Salud en el Trabajo*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).
- [4] Directiva 2004/37/CE, relativa a la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes carcinógenos o mutágenos durante el trabajo y sus modificaciones.
- [5] European Chemicals Agency (ECHA), (2023). Beryllium. Brief profile.
- [6] European Commission, Directorate-General for Employment, Social Affairs and Inclusion, Papameletiou, D., Nemery de Bellevaux, B., Hartwig, A. (2017). SCOEL/REC/175 beryllium and inorganic beryllium compounds: recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits, Publications Office).
- [7] European Commission, (2017). Study on the review of the list of Critical Raw Materials. Critical Raw Materials Factsheets. Beryllium.
- [8] European Commission, (2020). Study on the EU's list of Critical Raw Materials. Critical Raw Materials Factsheets (Final). Beryllium.
- [9] IARC Working Group. (2012). IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol 100C: Arsenic, metals, fibres, and dusts.
- [10] INSST. Base de datos INFOCARQUIM.
- [11] INSST, (2022). Guía Técnica sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos o mutágenos durante el trabajo.
- [12] INSST. Fichas de Control de Agentes Químicos (FCAQ).
- [13] INSST. Fichas Internacionales de Seguridad Química. FISQ. Berilio.
- [14] INSST, (2024). Límites de exposición profesional para agentes químicos en España 2024.
- [15] Lauwerys, R. (2012). Capítulo 27. Control biológico. *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).
- [16] Ministerio de Sanidad, (2023). Protocolización de la vigilancia sanitaria específica de las personas con riesgo de exposición laboral a productos químicos.
- [17] OSHA, (2023) (Occupational Safety and Health Administration). Beryllium - Health Effects.



- [18] OSHA, (2023) (*Occupational Safety and Health Administration*). *Beryllium - Exposure Evaluation and Controls*. Occupational Safety and Health Administration.
- [19] *Real Decreto 665/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos, mutágenos o reprotóxicos durante el trabajo y sus modificaciones.*
- [20] *Real Decreto 1299/2006, de 10 de noviembre, por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social y se establecen criterios para su notificación y registro.*
- [21] *Reglamento (CE) n° 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas.*
- [22] *Roadmap on carcinogens, (2018). The facts on beryllium.*
- [23] *Screen, 2020. Factsheets updates based on the EU factsheets 2020. Beryllium.*
- [24] *Silbergeld, E. K., Holmberg, B., & Högberg, J. (1998). Toxicología. Herramientas y enfoques. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo.*
- [25] *Tercero, Luis et al, (2018). SCRREEN. CRM profiles. Critical Raw Material Substitution Profiles.*
- [26] *U.S. Department of Energy. Hanford Site Chronic Beryllium Disease Prevention Program (CBDPP), (2022). DOE-0342, Rev. 2-2.*

Autor:

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), O.A., M.P.

Hipervínculos:

El INSST no es responsable ni garantiza la exactitud de la información en los sitios web que no son de su propiedad. Asimismo la inclusión de un hipervínculo no implica aprobación por parte del INSST del sitio web, del propietario del mismo o de cualquier contenido específico al que aquel redirija.

**Catálogo de publicaciones de la Administración General del Estado:**

<http://cpage.mpr.gob.es>

Catálogo de publicaciones del INSST :

<http://www.insst.es/catalogo-de-publicaciones>



AC. 11. 1. 24

NIPO (en línea): 118-22-002-4