

Cadmio

FICHAS DE AYUDA PARA LA SUSTITUCIÓN: La sustitución como medida más efectiva

La sustitución de los agentes cancerígenos, mutágenos o reprotoxicos es la medida preventiva prioritaria y más efectiva frente a los riesgos derivados de la exposición a dichos agentes en el trabajo. En la Ficha n° 00 (Aspectos generales) de esta colección técnica, puede consultarse información general, procedimientos y herramientas de ayuda para la sustitución.

Asimismo, en la Ficha n°10 Cadmio, de la colección "Agentes Cancerígenos en el Trabajo: Conocer para prevenir", se facilita información general sobre el agente y dónde se puede encontrar; los principales efectos para la salud; profesiones o sectores industriales donde puede haber exposición y niveles medios de exposición cuando existen estudios sobre ello; información sobre evaluación y control de la exposición, vigilancia de la salud, así como otras medidas preventivas.

En la presente colección se resume aquella información relativa a los aspectos anteriores, con carácter no exhaustivo, y que pueda tener mayor impacto en la sustitución del agente, aportándose referencias de opciones y buenas prácticas para su sustitución en aquellos sectores identificados con mayor exposición.

Principales características y efectos en la salud

El cadmio es un metal blando, maleable y dúctil, de color plateado, que se encuentra en la corteza terrestre asociado, generalmente, con minerales de zinc, plomo y cobre. Se presenta combinado habitualmente con otros elementos, como, por ejemplo, oxígeno (óxido de cadmio), azufre (sulfato de cadmio, sulfuro de cadmio), etc.

El cadmio metálico es insoluble en agua, aunque la solubilidad varía ampliamente entre los compuestos de cadmio.

El cadmio y algunas sales de cadmio están clasificados en la Unión Europea como cancerígenos de categoría 1B, según la clasificación armonizada del Reglamento (CE) n° 1272/2008, sobre clasificación, etiquetado y envase de sustancias y mezclas (Reglamento CLP), por lo que se supone que son carcinógenos para el ser humano, "en base a la existencia de pruebas en animales" [3].

ÍNDICE

Principales características y efectos en la salud

Referencias normativas

Usos frecuentes

Fuentes y sectores principales de exposición

Algunas alternativas de sustitución

Referencias bibliográficas





Además, este agente se clasifica como mutágeno de categoría 2, siendo, por tanto, una sustancia motivo de preocupación por poder inducir mutaciones hereditarias en las células germinales humanas, así como tóxico para la reproducción de categoría 2, puesto que se sospecha que perjudica a la fertilidad y que daña al feto.

Ante exposiciones crónicas, puede producir también daños renales, problemas respiratorios, cardiovasculares, óseos y dentales y, además, puede afectar al peso de los recién nacidos.

En caso de exposiciones agudas, puede provocar daños digestivos o trastornos respiratorios. El cadmio está clasificado como tóxico agudo categoría 2 por inhalación.

En exposiciones laborales, el cadmio tiene como principal vía de entrada al organismo la inhalatoria y, en ocasiones y dependiendo de la higiene personal, la vía digestiva tiene cierta relevancia.

En el ámbito laboral, la vía de entrada más importante del cadmio al organismo es la vía inhalatoria, aunque también es posible la absorción por vía gastrointestinal.

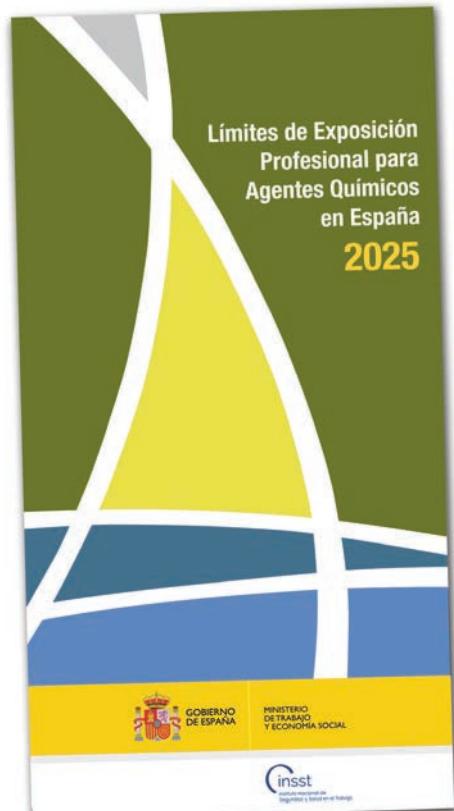
A bajas exposiciones, el 40%-80% se acumula en el hígado y en los riñones, y el 20% en el músculo. A medida que se incrementa la exposición, disminuye la acumulación en los riñones y aumenta en el hígado [11].

Referencias normativas

Para el cadmio y sus compuestos inorgánicos, son de aplicación los valores límite de exposición profesional establecidos para el cadmio y sus compuestos inorgánicos en el Anexo III del Real Decreto 665/1997, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos, mutágenos o reprotoxicos durante el trabajo [1].

En el ámbito europeo, el Reglamento (CE) nº 1907/2006, relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y mezclas químicas [4] (en adelante, Reglamento REACH), incluye al cadmio y algunos de sus compuestos dentro de las sustancias extremadamente preocupantes (SEP). Asimismo, en su anexo XVII impone restricciones para su comercialización o uso, en diferentes casos:

- Mezclas y artículos fabricados a partir de ciertos materiales plásticos si la concentración de cadmio (expresada en Cd metal) es igual o superior al 0,01 % en peso del material plástico.
- Ciertas pinturas en una concentración (expresada en Cd metal) igual o superior al 0,01 % en peso, o artículos pintados con las mismas.
- Cadmiado en artículos metálicos o componentes de los artículos utilizados en ciertos sectores/aplicaciones.





- Materiales de relleno para soldadura en concentraciones iguales o superiores al 0,01 % en peso.
- Componentes metálicos para la elaboración y artículos de joyería, bisutería y accesorios para el pelo, si la concentración es igual o superior al 0,01% en peso.

Dichas restricciones se exceptúan para ciertas aplicaciones expresamente mencionadas en dicho Reglamento, tales como, por ejemplo, aquellas donde su uso resulta imprescindible por tratarse de sectores que requieren un alto grado de seguridad o fiabilidad.

Asimismo, la Directiva 2011/65/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 8 de junio de 2011, sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos, establece un límite para la concentración de cadmio de 0,01% en materiales homogéneos.

Por otro lado, el Reglamento (UE) 2023/1542 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de julio de 2023, relativo a las pilas y baterías y sus residuos, establece que las pilas o baterías portátiles, incorporadas o no en un aparato, en un medio de transporte ligero o en otro vehículo, no contendrán más de un 0,002 % de cadmio (expresado como cadmio metálico) en peso. Según este Reglamento, la limitación en contenido de cadmio será también aplicable a equipos médicos, herramientas eléctricas portátiles e iluminación de emergencia, los cuales tenían una excepción a dicha limitación bajo la anterior Directiva 2006/66/CE.



Usos frecuentes

El cadmio se fabrica y/o se importa en la Unión Europea, en cantidades que oscilan entre 1.000 a 10.000 toneladas al año [5].

Son varios los compuestos de cadmio utilizados en el ámbito de la Unión Europea para distintas aplicaciones [6]:

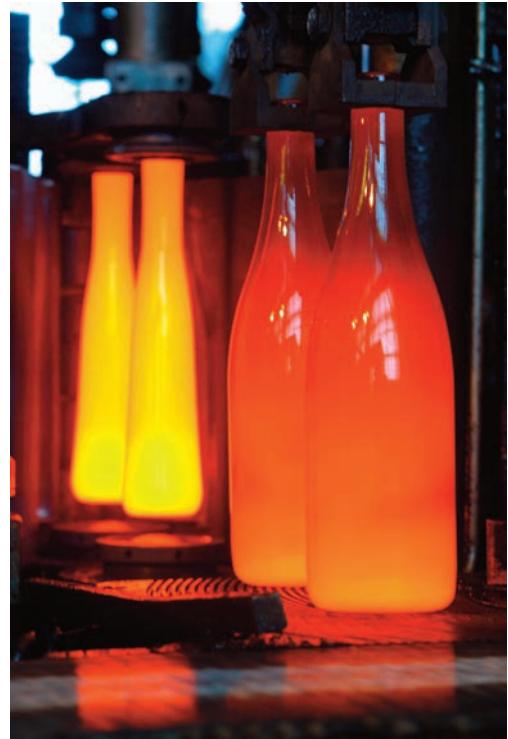
- Materiales activos para electrodos de baterías, en un 75 % aproximadamente de los usos totales y, principalmente, como óxido de cadmio.
- Aleaciones y otros usos (16 % aproximadamente).
- Componentes de recubrimientos para acero y metales no ferrosos (4 % aproximadamente).



- Pigmentos en cerámica, plásticos y vidrios (3 % aproximadamente).
- Estabilizador para PVC y polímeros similares, principalmente mediante sales orgánicas en un 1 % aproximadamente.

Tabla 1. Principales compuestos de cadmio en la Unión Europea [6]

Sustancia	nº CE	Principales usos
Cadmio	231-152-8	Baterías, recubrimientos, aleaciones, intermedio, estabilizadores.
Óxido de cadmio	215-146-2	Baterías, recubrimientos, intermedio, reactivo de laboratorio.
Hidróxido de cadmio	244-168-5	Baterías, reactivo de laboratorio.
Ácido silícico, sal de circonio, pigmento encapsulado de cadmio	310-077-5	Pigmento.
Sulfuro de cadmio	215-147-8	Pigmento, intermedio, agente fotovoltaico.
Telururo de cadmio	215-149-9	Intermedio, agente fotovoltaico.
Sulfoseleniuro de cadmio	701-229-5	Pigmento, reactivo de laboratorio.
Sulfato de cadmio	233-331-6	Intermedio, reactivo de laboratorio.
Amarillo de sulfuro de cadmio y zinc	701-227-4	Pigmento, reactivo de laboratorio.
Carbonato de cadmio	208-168-9	Producto intermedio.



El cadmio se produce principalmente como subproducto de la minería, la fundición y la refinación de minerales sulfurados de zinc y, en menor medida, de plomo y cobre. Un porcentaje menor de cadmio, alrededor del 10% del consumo, se produce a partir de fuentes secundarias, principalmente del polvo generado al reciclar chatarra de hierro y acero. También se recupera una cantidad significativa de cadmio procedente de las baterías de níquel-cadmio agotadas.

Fuentes y sectores principales de exposición

La población general puede estar expuesta al cadmio mediante inhalación de partículas que pueden estar presentes en el medioambiente o el humo del tabaco, o al ingerir alimentos o agua contaminados con cadmio.



El control biológico, ya sea utilizando cadmio en sangre o cadmio en orina, ofrece una serie de ventajas, ya que incorpora todas las posibles fuentes de exposición laboral y ambiental [11].

En cuanto a la exposición en el ámbito laboral, se estima que en la Unión Europea 10.000 personas trabajadoras están potencialmente expuestas al cadmio y sus compuestos [7] (no habiéndose encontrado datos segregados por sexo).

El mayor riesgo de exposición profesional al cadmio proviene de procesos que impliquen calentamiento de materiales que contienen este metal, como la fundición y el electrochapado. Así, entre las ocupaciones con mayor riesgo de exposición se incluyen la fundición de minerales de zinc y plomo, soldadura o la refundición de acero recubierto de cadmio, así como la producción, procesamiento y manipulación de cadmio en polvo [6]. Asimismo, existe una notable exposición potencial a cadmio en la fabricación de baterías de níquel-cadmio, fabricación de pigmentos y de productos plásticos. Del mismo modo, el reciclaje de chatarra de metal y baterías de níquel-cadmio también puede implicar cierta exposición.

Los sectores donde puede existir mayor exposición son la construcción, la fabricación de productos metálicos (especialmente baterías), industrias de metales no ferrosos y la fabricación de productos plásticos [7].

La Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con los agentes cancerígenos o mutágenos durante el trabajo, elaborada por el INSST, en sus comentarios al artículo 4 del Real Decreto 665/1997, señala que siempre que sea técnicamente posible, la medida obligatoria para eliminar el riesgo por exposición a agentes cancerígenos o mutágenos debe ser la sustitución de estos agentes o el procedimiento que los origine. La obligación de la sustitución se mantiene incluso si la alternativa (sustancia, mezcla o procedimiento) es más costosa.

Algunas alternativas de sustitución

Si bien el uso del cadmio para ciertas aplicaciones se ha visto reducido significativamente, en la actualidad aún se puede progresar en su sustitución por otros agentes de menor peligrosidad para la salud, o bien mediante la sustitución o modificación de los procesos que eviten su uso o reduzcan el riesgo.

En cualquier caso, la sustitución deberá contemplar la valoración global previa de los riesgos de toda índole, incluidos los derivados de cambios en el proceso.

Se han recogido algunos ejemplos de casos aplicados y estudios de las diferentes opciones de sustitución del cadmio para distintos sectores de actividad.





• Fabricación y reciclaje de baterías (CNAE¹ 2720; 38)

El uso principal del cadmio es la fabricación de electrodos para baterías de níquel-cadmio (Ni-Cd). Las reacciones electroquímicas de carga/descarga de las mismas se dan entre el electrodo positivo (cátodo), que contiene óxido-hidróxido de níquel como material activo, y un electrodo negativo (ánodo) compuesto por cadmio metálico. Durante la descarga, cuando se utiliza la energía almacenada, el óxido-hidróxido de níquel se combina con agua y produce hidróxido de níquel e iones hidróxido en el cátodo, mientras que en el ánodo se produce hidróxido de cadmio.

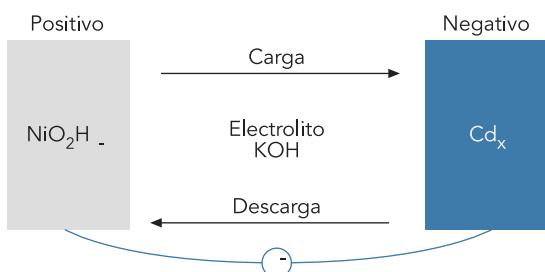


Figura 1. Principio de la batería Ni-Cd. Extraída y traducida de referencia [13]

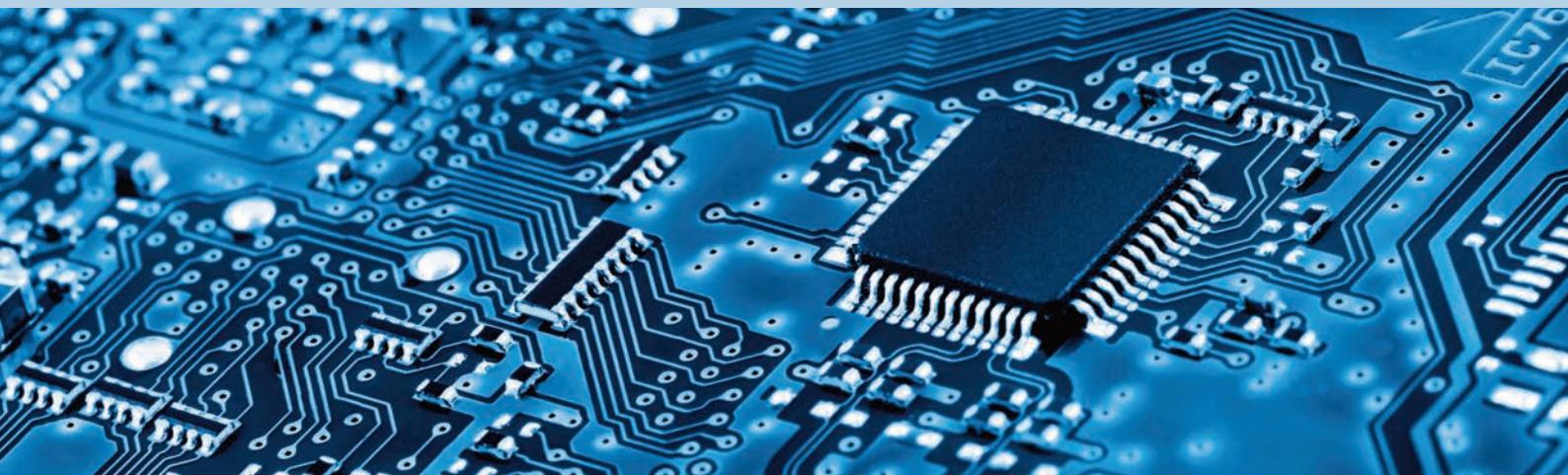
El Reglamento 2023/1542 establece las siguientes categorías de baterías:

- Baterías para vehículos eléctricos.
- Baterías para medios de transporte ligeros, como las bicicletas o patinetes eléctricos.
- Baterías portátiles.
- Baterías industriales, donde se incluyen las destinadas a ser utilizadas en actividades industriales, infraestructuras de comunicaciones, actividades agrícolas, o generación y distribución de energía eléctrica, así como las baterías utilizadas para la tracción de otros vehículos de transporte, incluidos el transporte por ferrocarril, mar y aire o la maquinaria no de carretera. Asimismo, se incluyen las utilizadas para almacenar energía en entornos privados o domésticos y, en general, toda batería con un peso superior a 5 Kg que no entre dentro de ninguna otra categoría en virtud de dicho Reglamento.

Teniendo en cuenta las restricciones reglamentarias en gran parte de las aplicaciones anteriores por la toxicidad del cadmio, los usos actuales más relevantes de las baterías Ni-Cd se centran en las baterías de categoría industrial según la anterior clasificación. Fundamentalmente se utilizan para funciones



¹ Real Decreto 475/2007, de 13 de abril, por el que se aprueba la Clasificación Nacional de Actividades Económicas 2009 (CNAE-2009).



de seguridad y proporcionar energía de respaldo en caso de fallo de la fuente principal de energía en aplicaciones críticas, como en el transporte público (aviación, ferrocarril, metro, etc.) así como en el ámbito industrial.

Además, las baterías Ni-Cd constituyen uno de los sistemas actuales para almacenar la energía generada por paneles solares, permitiendo acumular el exceso de energía que genera la instalación fotovoltaica, y así poder consumirla en momentos de mayor demanda de electricidad.

Existen avances notables en la implantación de alternativas a las baterías de Ni-Cd, que puedan presentar menor peligrosidad para la salud. Así, a modo de listado no exhaustivo, se describen algunos ejemplos:

- **Baterías de ion de litio**, las cuales contienen iones de litio que se desplazan entre un cátodo y un ánodo a través de un electrolito. Durante la carga, los iones de litio fluyen desde el cátodo hacia el ánodo a través del electrolito. Durante la descarga, los iones de litio se desplazan desde el ánodo de nuevo hacia el cátodo, generando corriente eléctrica que alimenta el dispositivo conectado.

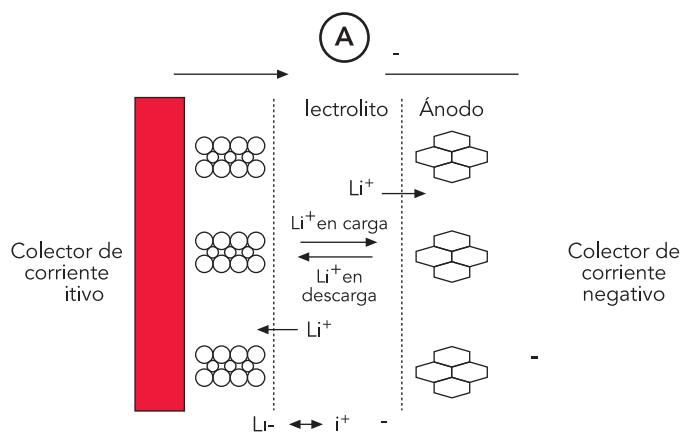


Figura 2. Principio de la batería de ion de Litio. Extraída y traducida de referencia [14]

Las baterías de ion de litio se componen de una o varias de estas celdas galvánicas y, dependiendo de su uso final, existen diferentes tipos. Así, por ejemplo, las celdas cilíndricas, usadas en la mayoría de los vehículos eléctricos, consisten en láminas de distintos componentes que se enrollan hasta formar un cilindro, mientras que las celdas planas, como las que integran los teléfonos móviles y ordenadores portátiles, utilizan polímero de iones de litio en forma de láminas apiladas.

Además de los anteriores, son diversos los sectores donde se ha evidenciado el uso de las baterías ion de litio. De este modo, en el sector sanitario es notable el uso en dispositivos médicos: los dispositivos implantables (por ejemplo, marcapasos y neuroestimuladores); monitores de salud por-

El Reglamento (UE) 2023/1542 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de julio de 2023, relativo a las pilas y baterías y sus residuos y por el que se modifican la Directiva 2008/98/CE y el Reglamento (UE) 2019/1020 y se deroga la Directiva 2006/66/CE, señala que: "las pilas o baterías son una importante fuente de energía y un factor clave para promover el desarrollo sostenible, la movilidad ecológica, la energía limpia y la neutralidad climática. Se prevé que la demanda de pilas y baterías aumente rápidamente en los próximos años".



tátiles como, por ejemplo, los monitores continuos de glucosa; equipos médicos portátiles (desfibriladores, etc.); prótesis y exoesqueletos, etc.

Los materiales utilizados en los electrodos de estas baterías son variados, entre ellos, el grafito para el ánodo y diferentes compuestos de litio para el cátodo. En relación con estos últimos, existen progresos en el desarrollo de alternativas libres de otros metales peligrosos para la salud, como el cobalto o níquel; a modo de referencia, la utilización como cátodo de aleaciones de hierro, litio y fosfato (batería LFP, por sus siglas en inglés) supone una opción de menor impacto para la salud.

Con respecto a los electrolitos, y como alternativas a los de tipo líquido tradicionales, hay estudios prometedores para el desarrollo de electrolitos sólidos que presentan ventajas potenciales en términos de seguridad, como es el caso de los basados en materiales cerámicos, biopolímeros, etc.

Además, existen progresos en el estudio y desarrollo de otras opciones relativas a las baterías de litio, como por ejemplo las señaladas a continuación, para las cuales es necesario el análisis específico de la peligrosidad para la salud tanto de los componentes principales, como de los subproductos generados en cada caso:

- Baterías de litio-aire, basadas en la oxidación del litio en el ánodo y la reducción de oxígeno del aire en el cátodo para inducir el flujo de corriente.
- Baterías de litio-azufre, que utilizan litio como material del cátodo y azufre como material del ánodo.
- Baterías de dióxido de carbono y litio, que se fundamentan en la utilización de este último como material del ánodo y dióxido de carbono en el cátodo.
- Baterías de ion sodio, en las cuales se utilizan iones de sodio (Na^+) como portadores de carga eléctrica. Existen progresos en distintas alternativas, entre las que se encuentran, por ejemplo, la utilización de grafito en el ánodo, y compuestos de sodio como óxidos, fosfatos y polímeros en el cátodo [16], [17].

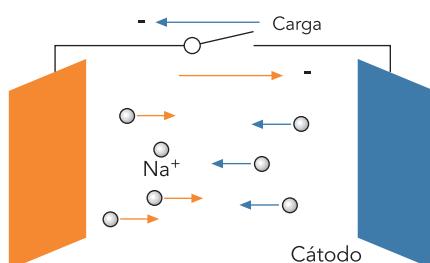


Figura 3. Principio de la batería de ion de Sodio. Extraída y traducida de referencia [16]



• Tratamiento y revestimiento de metales (CNAE 2561)

El cadmio se ha utilizado como recubrimiento para otros metales, entre los que destacan el hierro, acero, aluminio y otros metales no ferrosos, debido a sus propiedades anticorrosivas y su capacidad para adherirse fácilmente a diversos sustratos metálicos.

En ciertas aplicaciones como, por ejemplo, en el sector aeronáutico, la presencia de aceros de resistencia ultraalta requiere especiales prestaciones en los recubrimientos, dada la alta susceptibilidad que estos materiales presentan a la fragilización por hidrógeno, la cual se puede producir durante la aplicación de los revestimientos y puede llegar a provocar su fallo en servicio cuando son sometidos a altas solicitudes mecánicas.

Existen importantes avances en la identificación de alternativas que puedan presentar menor impacto en la salud, tales como:

- Utilización de otras aleaciones, por ejemplo, las aleaciones base aluminio, aplicadas mediante diferentes técnicas de recubrimiento, algunas de las cuales se mencionan a continuación a título ilustrativo:

- Deposición física de vapor (PVD, por sus siglas en inglés), basada en la generación de vapor del metal a depositar, con objeto de que este se condense sobre la superficie del substrato, formando la capa de protección. Existen diversas técnicas, así, por ejemplo:

1. Deposición iónica en fase vapor (IVD, por sus siglas en inglés) por la cual los iones generados a partir de un gas inerte controlan y modifican el recubrimiento obtenido sobre el substrato.

2. Deposición catódica, en los que se produce la vaporización de átomos de un material a depositar, mediante el bombardeo de este por iones acelerados mediante plasma.

La Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con los agentes cancerígenos o mutágenos durante el trabajo, elaborada por el INSST, en su Apéndice 2. Sustitución de agentes cancerígenos o mutágenos, señala que para que un proceso de sustitución tenga éxito es necesario estudiar previamente cada sustancia implicada en el proceso, obteniendo toda la información relevante sobre las mismas. Una vez realizado este primer análisis, se podrá comenzar con el proceso de sustitución mediante la búsqueda de alternativas viables o estudios de casos de éxito y comparar dichas alternativas para conocer su influencia en los riesgos para la salud y seguridad de los trabajadores.

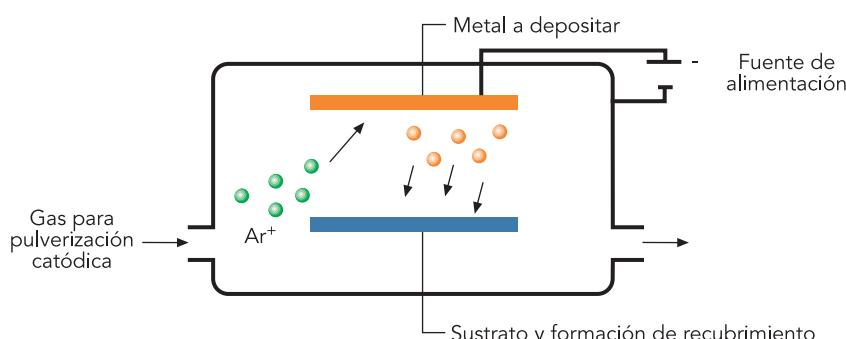


Figura 4. Principio de la técnica de pulverización catódica. Extraída y traducida de referencia [20]



- Recubrimientos "slurry" [21], consistentes en una suspensión de partículas de aluminio en un aglutinante, seguido de un tratamiento térmico posterior, para conseguir la unión con el sustrato a recubrir.
- Electrodepositión de otras aleaciones como, por ejemplo, aleaciones de base zinc y estaño.
- Recubrimientos a partir de compuestos de polímeros con partículas metálicas (por ejemplo, aluminio o magnesio) en su matriz.
- Instalación de otros materiales que, por sus propiedades, eviten la necesidad del recubrimiento con cadmio, por ejemplo, acero inoxidable, cuando su uso sea técnicamente factible para la aplicación correspondiente.

• Aleaciones (CNAE de la división 25)

El cadmio ha sido utilizado en algunas aleaciones metálicas [18] para mejorar algunas de sus propiedades, tales como dureza, resistencia mecánica, resistencia a la fatiga, resistencia a la corrosión, reducción del punto de fusión facilitando la soldabilidad, etc.

La adición de cadmio en aleaciones con distintos metales como cobre, plata, estaño, zinc, ha tenido aplicaciones diversas (las cuales deben tomar en consideración las restricciones reglamentarias según lo descrito en el apartado 2) como, por ejemplo:

- Aleaciones cobre-cadmio para componentes eléctricos, como cables de catenaria en instalaciones de electrificación ferroviaria, cables con usos en sectores de aviación, militar y aeroespacial, etc.
- Aleaciones plata-cadmio, en relés, interruptores, termostatos.
- Aleaciones de estaño-cadmio y estaño-zinc-cadmio, como metal anti-fricción en aplicaciones de motores y turbinas.
- Aleaciones de cadmio, junto con bismuto, estaño y plomo, en aleaciones de bajo punto de fusión utilizadas en diversas aplicaciones, entre las que se encuentran los fusibles de rociadores automáticos contra el fuego.
- Aleaciones de cadmio, junto con plata, cobre y zinc, para soldadura fuerte en industrias aeroespaciales y de defensa para elementos de altas resistencias mecánica y térmica.

Existen distintos avances para la identificación de alternativas al cadmio en su uso para aleaciones metálicas, entre las que se encuentran:





- Aleaciones de cobre con otros metales, principalmente, magnesio, estaño o plata para cables de catenarias en instalaciones ferroviarias.
- Aleaciones de plata y zinc, utilizadas en diversas aplicaciones, como relés, interruptores, etc.
- Aleaciones de base bronce con adición de otros metales, como el zinc, para aplicaciones donde son necesarias adecuadas propiedades anti-fricción y resistencia al desgaste.
- Aleaciones de base bismuto, destacando por su aplicación como aleaciones de bajo punto de fusión.
- Para soldadura fuerte, se pueden utilizar varillas de aleación libres de cadmio que contienen otros metales, como plata, cobre, zinc, estaño, fósforo [8], [19].

• Fabricación de colorantes y pigmentos (CNAE 2012)

Algunos compuestos de cadmio, tales como el sulfuro de cadmio, se han utilizado en la fabricación de pigmentos para distintas aplicaciones, incluyendo pinturas, plásticos, vidrio, cerámica, esmaltes y acabado de textiles.

Existen avances en el estudio de posibilidades de sustitución del cadmio en dichas aplicaciones, algunas de los cuales se indican a continuación, debiendo considerarse como un listado no exhaustivo [22],[23], [24], [25]:

- Pigmentos inorgánicos, entre los que se pueden encontrar, por ejemplo:
 - Sulfuro de cerio (III), utilizado como pigmento de color rojo brillante y que presenta buena resistencia a la temperatura y a la luz.
 - Óxidos de cerio, con especial aplicación en el sector cerámico.
 - Soluciones de oxinitruros basados en metales de menor peligrosidad para la salud que el cadmio como, por ejemplo, el oxinitruro de lantano-tántalo.
 - Soluciones sólidas de perovskitas (materiales con el mismo tipo de estructura cristalina que el titanato de calcio (CaTiO_3) tipo ABX_3) con elementos como tántalo y lantano, CaTaON_2 y LaTaON_2 , cuyas propiedades, entre las que se encuentran la opacidad, dispersante, brillo, fuerza de teñido, estabilidad frente a la luz y la temperatura, les dotan de buen potencial de aplicación como pigmentos alternativos a los sulfoseleniuros de cadmio en el sector cerámico.
 - Óxidos de hierro, como alternativa para su uso como pigmentos de color amarillo [25].





- Pigmentos orgánicos, entre los que se pueden encontrar, por ejemplo:
 - Pigmentos de ariluro, de color amarillo, con especial aplicación en pinturas artísticas.
 - Pigmentos de base quinacridona, de color violeta-rojo, con notable resistencia a la intemperie. Sus aplicaciones son variadas, incluyendo recubrimientos de automóvil, otros revestimientos industriales, así como pinturas artísticas.
 - Pigmentos de base pirrol, de color rojo, con usos especialmente en las pinturas artísticas.
 - Pigmentos híbridos o constituidos a partir de mezclas de pigmentos orgánicos e inorgánicos, con base de óxidos metálicos como hierro, titanio, etc.

• Estabilizadores de plásticos (CNAE de la división 20)

Algunas sales de cadmio de ácidos grasos de cadena larga, como es el caso del estearato y el laurato de cadmio, han sido utilizadas en la industria química como estabilizadores de ciertas formulaciones de plásticos, especialmente el cloruro de polivinilo (PVC). Estas previenen su degradación ante factores como la luz, el calor y la oxidación, los cuales pueden conducir a la decoloración y deterioro de las propiedades mecánicas y resistencia química del plástico.

Existe una continua evolución hacia el desarrollo de alternativas más seguras, algunas de ellas se señalan a continuación a modo de referencia [27]:

- Estearatos de bario-zinc y de calcio-zinc. Además, la combinación de ambos puede obtener un efecto sinérgico en sus propiedades para la estabilización del plástico al que se añaden.
- Otras sales inorgánicas, como carbonatos de calcio o de cerio, pueden actuar como aditivos complementarios para mejorar ciertas propiedades de los estabilizadores principales.
- Complejos lamelares de sales de magnesio-aluminio conocidas como hidrotalcitas. Se han documentado casos de sustitución a escala comercial, por ejemplo, con la implementación de estas en sustitución de compuestos con contenido en cadmio y otros metales tóxicos, como el plomo ([10]. Ref.: 294. Alemania. 2020).
- Estabilizantes térmicos basados en biopolímeros y productos naturales, entre otros, los derivados de la proteína de soja; aceites vegetales (aceite de soja epoxiado; aceite de girasol epoxiado en presencia de estearatos de calcio y zinc, etc.); derivados del cardanol (compuesto orgánico natural obtenido del líquido de la cáscara del anacardo).

Como parte final del proceso de sustitución, debe realizarse una evaluación de riesgos que puede servir para determinar si los riesgos de partida se han eliminado o reducido al incorporar las alternativas obtenidas.

La Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con los agentes cancerígenos o mutágenos durante el trabajo, elaborada por el INSST, en su Apéndice 2. Sustitución de agentes cancerígenos o mutágenos, incluye una serie de herramientas para dicha evaluación de riesgos.

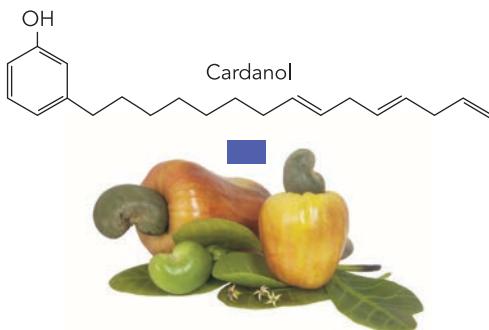


Figura 5. Obtención del cardanol. Extraída y traducida de referencia [28]

• Paneles fotovoltaicos (CNAE 2711)

Algunos compuestos de cadmio como el telururo o el sulfuro de cadmio disponen de propiedades semiconductoras, por lo que han sido utilizados para la fabricación de células solares de película delgada (denominadas de “segunda generación”) diseñadas para absorber y convertir la luz solar en electricidad. El carácter semiconductor de estos compuestos de cadmio también ha conducido a su uso para otras aplicaciones, como sería el caso de los detectores de radiación.

Se han desarrollado avances prometedores en el estudio de alternativas a los compuestos de cadmio en la utilización de células solares [29]; así, por ejemplo, la fabricación de células a partir de metales de menor peligrosidad para la salud (cobre, indio, galio, selenio, etc.) fabricadas por procesos de pulverización catódica, así como las células fotovoltaicas de polímeros, las cuales utilizan polímeros semiconductores donde existen avances prometedores para la identificación de alternativas con menor impacto para la salud.

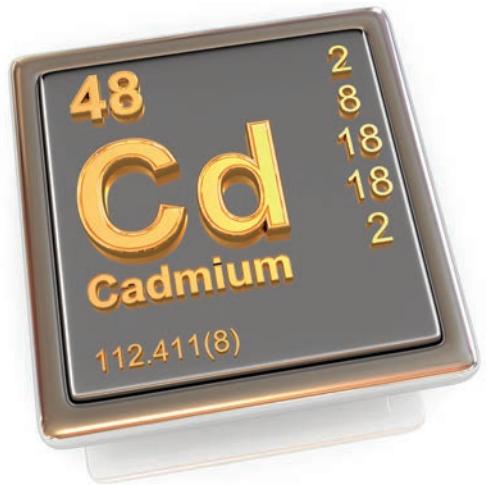


Referencias bibliográficas

- [1] 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 reprotoxícos durante el trabajo.
- [2] Directiva (UE) 2022/431 del Parlamento Europeo y del Consejo de 9 de marzo de 2022 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.



- [3] Reglamento (CE) nº 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2008 sobre Clasificación, Etiquetado y Envase de sustancias y mezclas (Reglamento CLP).
- [4] Reglamento (CE) nº 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 (REACH).
- [5] ECHA. [Portal web](#). Cadmium.
- [6] ECHA (European Chemical Agency). (2021). Annex 1 in support of the Committee for Risk Assessment (RAC) for evaluation of limit values for cadmium and its inorganic compounds at the workplace. ECHA/RAC/A77-O-0000006982-64-01/F.
- [7] Roadmap on carcinogens. [Portal web](#)
- [8] Foment del Treball. (2011). Guía práctica para la sustitución de agentes químicos por otros menos peligrosos, en la industria.
- [9] The Toxics Use Reduction Institute (TURI). Universidad de Massachusetts Lowell. (2021). Cadmium: Alternatives.
- [10] SUBSPORTplus. [Portal web de sustitución](#).
- [11] INSST. (2018). DLEP. Documentación Toxicológica para el establecimiento del límite de exposición profesional del cadmio y sus compuestos. Cadmio y compuestos inorgánicos.
- [12] United States Geological Survey. (2023). Mineral Commodity Summaries. Cadmium.
- [13] The European Association for Storage of Energy. Nickel-Cadmium Battery.
- [14] Zhao, G., Wang, X., & Negnevitsky, M. (2022). Connecting battery technologies for electric vehicles from battery materials to management. *Iscience*.
- [15] Kumar, P., Bansal, S., & Sonthalia, A. (2023). Introduction to battery systems. In *Handbook of Thermal Management Systems* (pp. 95-118). Elsevier.
- [16] Chen, J., Adit, G., Li, L., Zhang, Y., Chua, D. H., & Lee, P. S. (2023). Optimization Strategies Toward Functional Sodium-Ion Batteries. *Energy & Environmental Materials*, e12633.
- [17] Mukherjee, S., Bin Mujib, S., Soares, D., & Singh, G. (2019). Electrode materials for high- performance sodium-ion batteries. *Materials*, 12(12), 1952.





- [18] International Cadmium Association. Applications. <https://www.cadmium.org/>.
- [19] ECHA (European Chemical Agency). (2012). The use of brazing fillers containing cadmium for safety reasons.
- [20] Singh, M. M., Vijaya, G., Krupashankara, M. S., Sridhara, B. K., & Shrid-har, T. N. (2018). Deposition and characterization of aluminium thin film coatings using DC magnetron sputtering process. *Materials Today: Proceedings*, 5(1), 2696-2704.
- [21] Agüero, A., Del Hoyo, J. C., De Blas, J. G., García, M., Gutiérrez, M., Madueño, L., & Ulargui, S. (2012). Aluminum slurry coatings to replace cadmium for aeronautic applications. *Surface and Coatings Technology*, 213, 229-238.
- [22] SJansen, M., & Letschert, H. P. (2000). Inorganic yellow-red pigments without toxic metals. *Nature*, 404(6781), 980-982.
- [23] Alonso, A. G., Menéndez, R. G., & García, G. F. (2002). Posibilidad de sustitución de materias primas peligrosas por otras que entrañen menor peligro en el proceso productivo. *Mapfre seguridad*, 22(85), 17-23.
- [24] INRS. (2012). Fiche d'aide à la substitution. Sulfure de cadmium.
- [25] Kim, H. S., et al. (2021). Integrative comparison of cadmium and iron oxide as yellow pigment in terms of cellular stress and genotoxicity in vitro and in vivo. *Molecular & Cellular Toxicology*, 17, 99-109.
- [26] ECHA (European Chemical Agency). (2012). Cadmium and cadmium compounds in plastics upcoming request from the Commission for ECHA to prepare an Annex XV Dossier: Status and preliminary implications.
- [27] Folarin, O. M., & Sadiku, E. R. (2011). Thermal stabilizers for poly (vinyl chloride): A review. *Int. J. Phys. Sci*, 6(18), 4323-4330.
- [28] Lee, S., Park, M. S., Shin, J., & Kim, Y. W. (2018). Effect of the individual and combined use of cardanol-based plasticizers and epoxidized soybean oil on the properties of PVC. *Polymer Degradation and Stability*, 147, 1-11.
- [29] Kwak, J. I., Nam, S. H., Kim, L., & An, Y. J. (2020). Potential environmental risk of solar cells: Current knowledge and future challenges. *Journal of hazardous materials*, 392, 122297.
- [30] Real Decreto 475/2007, de 13 de abril, por el que se aprueba la Clasificación Nacional de Actividades Económicas 2009 (CNAE-2009).

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 aquél 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>



FAS. 10.1.25

NIPO (en línea): 118-24-031-3