

Cromo VI



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

La sustitución de los agentes cancerígenos, mutágenos o reprotóxicos 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° 07 Cromo (VI), 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 cromo hexavalente, cromo (VI) o Cr (VI) es una de las formas más comunes de este elemento químico. Los compuestos de cromo hexavalente disponen de propiedades de sustancial interés para su aplicación industrial, tales como resistencia a la corrosión, durabilidad y dureza.

Se sabe que el trióxido de cromo y los cromatos de zinc, incluido el cromato de zinc y potasio, son agentes cancerígenos para las personas “en base a la existencia de pruebas en humanos” [3], siendo, por tanto, clasificados como cancerígenos de categoría 1A según la clasificación armonizada del *Reglamento (CE) n° 1272/2008*, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas (en adelante, Reglamento CLP). El resto de los compuestos de cromo hexavalente con aplicación industrial están actualmente clasificados como cancerígenos de categoría 1B y, por tanto, 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



A este respecto, el efecto más destacado derivado de la exposición a estas sustancias es el cáncer de pulmón, nasal y de senos paranasales.

Además, la gran mayoría de los compuestos de cromo (VI) se encuentran clasificados según dicha normativa como sensibilizantes, por ser sustancias que, por inhalación o penetración cutánea, pueden ocasionar una reacción de hipersensibilidad, de forma que una exposición posterior a las mismas dé lugar a efectos negativos característicos, tales como asma.

Los compuestos de cromo (VI) son, asimismo, corrosivos para los ojos, la piel y el tracto respiratorio, así como para el tracto digestivo en caso de ingestión.

Referencias normativas

Son de aplicación los valores límite de exposición profesional establecidos 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 reprotóxicos durante el trabajo. Y, en ausencia de los anteriores, los valores límite ambientales publicados por el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo en el "Documento sobre Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos en España" cuya aplicación es recomendada por la Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo.



Las vías de exposición profesional más frecuentes a los compuestos de Cr (VI) son por inhalación de polvo, niebla o humos, así como por contacto dérmico con productos que contienen Cr (VI).

La exposición dérmica a estos compuestos puede ocurrir, fundamentalmente, como consecuencia de salpicaduras, depósito sobre la piel de aerosoles que hayan pasado al ambiente, o bien por contacto directo con el producto o con superficies contaminadas.





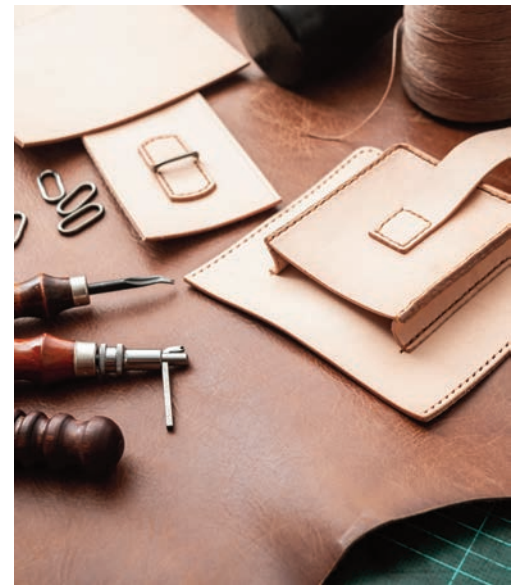
En el ámbito europeo, el Reglamento (CE) nº 1907/2006, relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y mezclas químicas (en adelante, Reglamento REACH), incluye al cromo (VI) dentro de las sustancias extremadamente preocupantes (SEP). Asimismo, impone restricciones para su comercialización o uso, en los siguientes casos:

- Para el cemento y sus mezclas si, una vez hidratados, su contenido de cromo (VI) soluble es superior a 2 mg/kg (0,0002 % del peso seco total del cemento), a excepción de que se apliquen en procesos controlados, cerrados y totalmente automatizados en los que solo sean manejados por máquinas y no exista ninguna posibilidad de contacto con la piel.
- Artículos de cuero o con partes de cuero en contacto con la piel, que contengan cromo (VI) en concentraciones iguales o superiores a 3 mg/kg (0,0003 % del peso total en seco del cuero).

Además, el cromo, el ácido crómico y sus sales están incluidos en la "Lista de sustancias prohibidas en productos cosméticos" según el Reglamento (CE) nº 1223/2009, sobre los productos cosméticos.

Por otra parte, el Real Decreto Legislativo 1/2016, de 16 de diciembre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de prevención y control integrados de la contaminación, contempla en su "Lista de sustancias contaminantes" a los metales y sus compuestos, así como a las "sustancias y mezclas respecto de los cuales se haya demostrado que poseen propiedades cancerígenas, mutágenas o puedan afectar a la reproducción a través del aire", y a las "sustancias y mezclas cuyas propiedades cancerígenas, mutágenas o que puedan afectar a la reproducción en o por vía del medio acuático estén demostradas".

Con relación a las aguas superficiales, el Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental, incluye al cromo (VI) en la "Lista de sustancias preferentes", seleccionadas por presentar un riesgo significativo para las aguas superficiales. En lo que respecta a la calidad de las aguas para uso humano, se contempla al cromo total como uno de los parámetros regulados en el Real Decreto 3/2023, por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de la calidad del agua de consumo, su control y suministro.



El procedimiento de autorización del Reglamento REACH tiene por objeto garantizar que las sustancias extremadamente preocupantes se sustituyan de manera progresiva por sustancias o tecnologías menos peligrosas cuando se encuentren disponibles alternativas viables.



Usos frecuentes

Los compuestos de cromo hexavalente tienen una alta aplicación industrial. En la Tabla 1 se indican algunos de los principales compuestos utilizados en el ámbito de la Unión Europea.

Tabla 1.
Principales compuestos de Cr (VI) fabricados y/o importados en la Unión Europea.
Fuente: ECHA [21]

Sustancia	n° CE	Volumen fabricado y/o importado en la Unión Europea (t/ año)
Trióxido de cromo	215-607-8	10000-100000
Cromato sódico	231-889-5	1-10
Dicromato potásico	231-906-6	100-1000
Cromato potásico	232-140-5	1-10
Cromato de estroncio	232-142-6	1000-10000
Dicromato amónico	232-143-1	10-1000
Dicromato sódico	234-190-3	100-1000
Cromato hidróxido de zinc y potasio	234-329-8	100-1000
Tris(cromato) de dicromo	246-356-2	10-100
Octahidróxido de cromato de pentazinc	256-418-0	100-1000
Ácido crómico	231-801-5	<10
Ácido dicrómico	236-881-5	<10

Los compuestos de cromo (VI) presentan muy diversas aplicaciones (ver Tabla 2), tales como la fabricación de otros compuestos de cromo y de aleaciones de hierro-cromo, procesos de soldadura de aceros inoxidables, galvanoplastia (con fines decorativos, cromado duro para mejorar sus propiedades, pasivación de zinc, etc.), oxidantes en la industria textil o procesos de síntesis de pigmentos.





Tabla 2.
Principales aplicaciones de los compuestos de Cr (VI). Fuente: ECHA [21], [22]

Aplicaciones	Algunos compuestos Cr (VI) aplicados
Cromado duro en componentes de los sistemas de inyección de gasolina y diésel	Ácidos generados a partir del trióxido de cromo y sus oligómeros (incluye el ácido crómico, ácido bicrómico, oligómeros de ácido crómico y ácido dicrómico)
Cromado funcional en sectores diversos (automoción, construcción, industria del petróleo y gas natural, militar, etc.)	Trióxido de cromo
Cromado funcional con carácter decorativo (sector automoción, aplicaciones sanitarias, etc.)	Trióxido de cromo
Tratamiento superficial (sector aeroespacial, arquitectura, metalúrgico, etc.)	Trióxido de cromo, cromato sódico, dicromato potásico, cromato de estroncio, dicromato sódico, tris(cromato) de dicromo, octahidróxido de cromato de pentazinc
Pasivación de metales	Trióxido de cromo, dicromato sódico
Componente de catalizadores	Trióxido de cromo, cromato amónico, dicromato potásico, ácido crómico
Formulación de mezclas	Trióxido de cromo, cromato sódico, dicromato potásico, cromato de estroncio, dicromato sódico, tris(cromato) de dicromo, octahidróxido de cromato de pentazinc
Fabricación de pigmentos	Trióxido de cromo, dicromato potásico, cromato cálcico
Fabricación de conservantes de madera	Trióxido de cromo, dicromato sódico, dicromato potásico
Inhibidor de corrosión	Cromato cálcico, tris(cromato) de dicromo, cromato amónico
Agente para el curtido de pieles	Cromato potásico
Mordiente para el teñido (industria textil)	Dicromato sódico, cromato potásico
Fabricación de otros compuestos de cromo	Cromato sódico, dicromato sódico, ácido crómico
Agente anticorrosivo en sistemas de refrigeración	Cromato sódico, dicromato sódico
Reactivo de laboratorio	Dicromato amónico
Producción de fotocátodos	Cromato sódico, cromato potásico
Revestimiento y pasivación de circuitos electrónicos	Dicromato potásico
Producción de microcomponentes	Dicromato amónico



Fuentes y sectores principales de exposición

El cromo hexavalente puede darse de forma natural en el medio ambiente como resultado de la erosión de depósitos crómicos, pero, principalmente, se forma artificialmente durante procesos industriales. Asimismo, el Cr (VI) se puede producir a consecuencia de la oxidación de Cr (III) en ciertas condiciones.

En cuanto a la exposición en el ámbito laboral, se estima que alrededor de 900000 personas trabajadoras en la Unión Europea están expuestas al cromo hexavalente en diferentes sectores, tales como en soldadura y otros tipos de trabajos en caliente de acero inoxidable y otros metales que contienen cromo (VI); durante el uso de pigmentos, pinturas en aerosol y revestimientos; en las aplicaciones de tratamiento de superficies de plásticos y metales; manipulación de hormigón; así como en técnicas abrasivas de materiales recubiertos de cromo (VI), como el chorreado abrasivo, el lijado y el esmerilado [24].

Por otro lado, según la Encuesta sobre la exposición de las personas trabajadoras a factores de riesgo de cáncer de Europa de 2023 [25], la exposición profesional a cromo hexavalente se identifica como el sexto factor de riesgo de cáncer con mayor frecuencia de los veinticuatro factores de riesgo de cáncer considerados en la misma.



Los estudios sobre los trabajadores de las industrias de producción de cromatos, pigmentos de cromato y galvanoplastia de cromo empleados antes de la década de 1980 muestran un aumento de las tasas de mortalidad por cáncer de pulmón. [24]



Algunas alternativas de sustitución

Si bien la producción y el uso de compuestos de Cr (VI) se ha visto reducido significativamente [22], en la actualidad aún se puede seguir progresando en su reemplazo por otros agentes de menor peligrosidad para la salud, o bien mediante la sustitución o modificación de los procesos para evitar su uso o reducir 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 reportado algunos ejemplos de casos aplicados y de estudios de las diferentes opciones de sustitución para los compuestos de Cr (VI) para distintos sectores de actividad, algunos de los cuales se resumen a continuación:

• Tratamiento y revestimiento de metales (CNAE 2561)¹

- Sustitución del cromado duro (recubrimiento con cromo para mejorar propiedades mecánicas) por diferentes técnicas alternativas ([6], [10], [12]):
 - Espráis térmicos, tales como la técnica de proyección térmica de alta velocidad (HVOF, por sus siglas en inglés), por la cual se proyecta el material de recubrimiento (con posibles alternativas distintas al Cr (VI) como, por ejemplo, el carburo de tungsteno) el cual es fundido y posteriormente acelerado mediante una tobera de gas a velocidades superiores a la velocidad del sonido (Figura 1); o bien mediante técnicas con calentamiento por inducción para conseguir la fusión del recubrimiento.

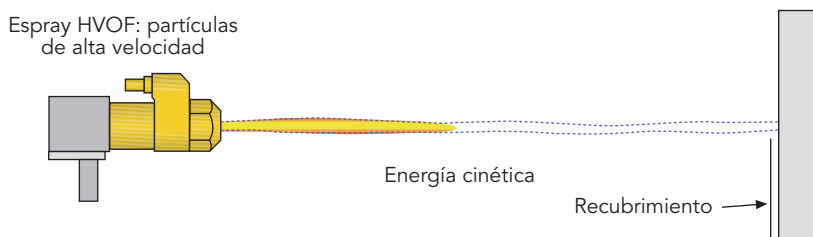


Figura 1. Sistema de recubrimiento mediante técnica HVOF. Figura extraída y traducido de referencia [9].

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



- Nitruración, por la cual se logra un endurecimiento superficial del metal tratado a partir de la formación de nitruros, los cuales son generados mediante diversas técnicas, tales como:
 - Nitruración por plasma, sometiendo a la pieza a tratar a una atmósfera de gases ionizados (plasma) y un diferencial de voltaje.
 - Nitruración obtenida sumergiendo la pieza en un baño de sal transfiriéndose nitrógeno desde la sal fundida a la superficie de la pieza metálica. Es importante para ello la selección de sales que no presenten riesgos para la salud.
 - Nitrocarburation, proceso con incremento de temperatura con respecto a la técnica anterior, que obtiene la difusión tanto de nitrógeno como de carbono a la pieza.
- Métodos de deposición de vapor, tales como:
 - Deposición física de vapor (PVD, por sus siglas en inglés) partiendo de materiales sólidos que son vaporizados en atmósfera a vacío y condensados sobre la superficie a recubrir, bien directamente o bien haciéndolos reaccionar previamente con otro gas.
 - Deposición química de vapor (CVD, por sus siglas en inglés), que se basa en la reacción de una mezcla de gases o vapores químicos, para dar lugar a un producto sólido en forma de recubrimiento.
 - Deposición de material por láser a extrema velocidad (EHLA, por sus siglas en inglés), de modo que las partículas de polvo sólido del recubrimiento son fundidas por un láser llegando a la superficie del componente en estado líquido y consiguiendo una unión metalúrgica ultrarrápida entre ambos. Permite una amplia variedad de materiales de recubrimiento (por ejemplo, aleaciones resistentes a la corrosión o al desgaste basadas en metales como el hierro).
 - Electrodeposición de cromo trivalente (o Cr (III)) mediante corriente pulsada.
 - Deposición de otras aleaciones metálicas tales como las de base níquel y wolframio, tungsteno, etc.





- Procesos alternativos al cromado decorativo con trióxido de cromo por diferentes técnicas alternativas cuya aplicabilidad debe analizarse caso a caso ([10], [12], [13], [23]):
 - Aplicación de compuestos de cromo trivalente para el cromado de sustratos metálicos o plásticos, tales como electrolitos a base de sales de Cr (III). No obstante, se debe tener en cuenta previamente, para la valoración de la sustitución, la posible aparición de nuevos riesgos para la salud asociados a otras sustancias que puedan intervenir en el proceso con Cr (III), tales como los boratos.
Se han reportado diversos casos de reemplazo y adaptación de instalaciones existentes con Cr (VI) por Cr (III) ([13], [26]).
 - Deposición física de vapor (PVD) o Deposición química de vapor (CVD).
 - Tecnologías combinadas, como la reportada en una empresa alemana mediante combinación de recubrimientos curados con radiación UV (para favorecer adherencia y proteger al soporte metalizado) y metalización al vacío en el rango nanométrico con materiales de menor riesgo para la salud, llevado a cabo en un sistema cerrado.
- Técnicas alternativas al cromo hexavalente en el pasivado de metales como zinc, aluminio o acero galvanizado:
 - Compuestos de Cr (III). La tecnología convencional utilizaba cromo (VI) y ácido que reaccionaba con el metal. Sin embargo, una empresa holandesa reportó la implantación de una técnica alternativa para realizar un proceso de pasivación azul (proceso de cromado de zinc). Esta consistía en utilizar cromo (III) y peróxido de hidrógeno, reduciendo además el zinc disuelto en el baño, permitiendo su reutilización, así como la reducción de los vertidos finales [26].
 - Mediante la utilización de molibdatos y fosfatos.
 - Óxido de zirconio.
 - Electrodeposición de capas minerales.

La sustitución puede llevarse a cabo mediante el cambio de un agente por otro, cambios de organización y tecnológicos o, incluso, mediante el cambio completo del propio proceso para conseguir un resultado equivalente al obtenido en el proceso original pero que implique un menor riesgo para la seguridad y la salud de las personas trabajadoras, así como para el medio ambiente.

Este proceso no solo va a tener repercusión en el ámbito laboral al eliminar o reducir la exposición a sustancias peligrosas, que pueden dañar su salud, sino que va más allá, puesto que las exposiciones potenciales a sustancias peligrosas contenidas en artículos, en productos de consumo y, en general, presentes en todo el ciclo de vida en el que está implicada la sustancia también se verán afectadas.





• **Actividades con galvanizado sobre plástico (ej.: CNAE 22; 26; 293)**

Para el proceso de galvanizado de sustratos plásticos (aplicado en distintos sectores como la fabricación de productos plásticos, electrónicos, automoción, etc.), se pueden identificar alternativas; por ejemplo, la sustitución de compuestos de cromo hexavalente usados como electrolitos por permanganatos, sales de manganeso, etc.; o bien galvanoplastias con otros metales como el níquel.

• **Fabricación y aplicación de pinturas, barnices y otros revestimientos similares (ej: CNAE 2030; 29, 4334)**

Para el proceso de fabricación de pinturas, barnices y revestimientos similares, así como su aplicación (por ejemplo, en actividades de fabricación de vehículos de motor, acabado de edificios, etc.), se han reportado diferentes opciones de sustitución (Fuentes: [5], [12], [14], [15], [23]), como, por ejemplo:

- Sustitución de pigmentos anticorrosivos con cromatos por otras alternativas de menor toxicidad como, por ejemplo, fosfato de zinc; fosfato de zinc y aluminio; tripolifosfato de aluminio; metaborato de bario; zinc en polvo, etc., los cuales son usados en combinación con diferentes tipos de resinas (vinílicas, alquídicas, epoxídicas, etc.) en aplicaciones para imprimaciones y pinturas de acabado.
- Utilización de procesos alternativos en la etapa de eliminación de pintura para posteriores repintados, como el chorreado en vía húmeda o por succión al vacío (presión negativa), reduciéndose la dispersión de posibles partículas de cromo (VI) presentes en la pintura retirada.
- Reemplazo de compuestos de cromo (VI) (ácido crómico y trióxido de cromo) por óxido de cerio como tratamiento anticorrosivo (proyecto reportado para ensayo en aviones militares).
- Sustitución de compuestos de cromo (VI) por compuestos orgánicos en solución con fluoruro de zirconio, fluoruro de titanio o derivados de siliconas.
- Alternativa reportada al cromato de zinc por pigmentos inhibidores de la corrosión basados en calcio y libres de cromo.





- Sustituciones reportadas de dicromato de sodio como componente de pinturas, tintes y barnices por diversas alternativas tales como fosfato de molibdeno, aluminio y zinc o borato de calcio.
- Sustituciones reportadas de trióxido de cromo como pigmento en la fabricación de tintes y pinturas por alternativas libres de Cromo (VI), como fosfato de molibdeno, aluminio y zinc.

• Actividades con soldadura de aceros inoxidable (ej.: CNAE 25, 41, etc.)

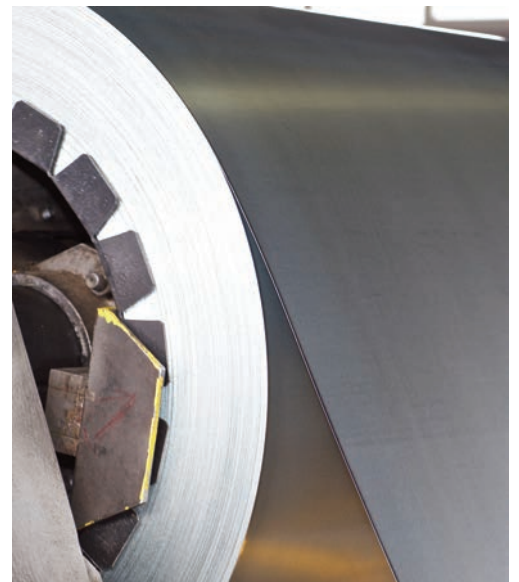
En actividades que implican soldadura de aceros inoxidable y, por tanto, con presencia de cromo (como en la fabricación de productos metálicos, en la construcción, etc.), la selección adecuada del tipo de proceso de soldadura en cada caso y la optimización de las variables esenciales del procedimiento (ej.: corriente de soldadura, tensión de arco, tipo y composición de gas de respaldo, etc.), tienen un impacto relevante para la reducción de los humos de soldadura.

Asimismo, existen estudios que permiten seguir avanzando en la modificación de las composiciones de los electrodos para la soldadura manual de aceros inoxidable, con el objetivo de reducir tanto la cantidad de humos de soldadura generados como la concentración de Cr (VI) en los mismos.

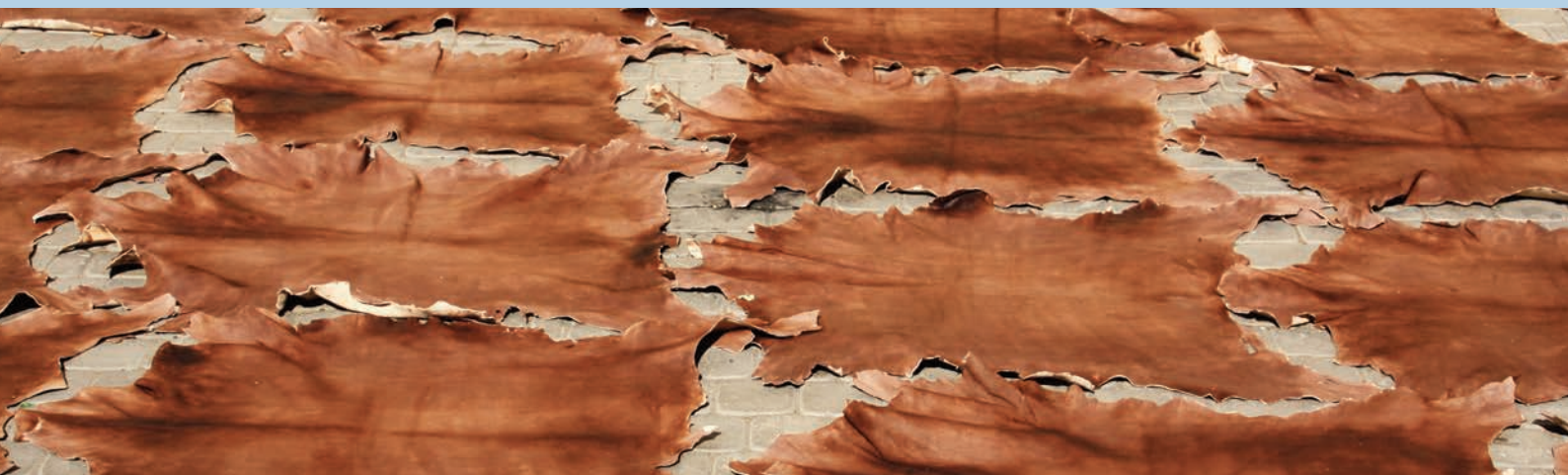
• Metalurgia (CNAE 24)

Se han analizado y ensayado ([9], [12]) diversas técnicas alternativas al endurecido con Cr (VI) para los rodillos de laminado en frío y skin-pass (tratamiento de acabado) en la industria siderúrgica como, por ejemplo:

- Proceso de recubrimiento por descarga eléctrica (EDC), por el cual se deposita el material de un electrodo sobre el sustrato a tratar, pudiendo depositar diferentes materiales alternativos al Cr (VI).
- Proyección térmica de alta velocidad (HVOF).



La OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) constituyó un grupo de trabajo especializado, que profundiza y respalda las estrategias y herramientas destinadas a la sustitución de sustancias peligrosas.



• Actividades de mantenimiento de ciertos equipos y motores (ej.: CNAE 19; 20; 351; 452)

El Cr (III) presente en algunas aleaciones de componentes de motores o equipos industriales como turbinas, tuberías o tornillería, se oxida a Cr (VI) ante la presencia de calcio y altas temperaturas (por encima de 400°C aproximadamente), formando cromato de calcio. El calcio puede estar presente en forma de óxidos de calcio como componente en materiales de aislamiento o en grasas utilizadas para el montaje o labores de mantenimiento.

Estas actividades pueden identificarse en diversos sectores, tales como las asociadas al refinado de petróleo, industria química, producción, transporte y distribución de energía eléctrica; mantenimiento y reparación de vehículos de motor, etc.

Dentro de las medidas más eficaces en este caso para evitar la formación de Cr (VI) se encuentra la utilización de materiales de aislamiento y grasas libres de óxidos de calcio.

• Construcción (CNAE 41, 43)

Dado que el cemento comercial puede contener sustancias peligrosas como el Cr (VI) o el polvo de sílice cristalina, se ha estudiado como alternativa en ciertas aplicaciones la utilización de diversos materiales naturales como tierras, cerámicas, piedras, paja, vidrio, bloques (por ejemplo, bloques cerámicos rellenos de corcho granulado), paneles de aglomerado termoacústico con productos de origen natural, etc. ([8], [12])

Asimismo, existen opciones para limitar la concentración de Cr (VI) en los cementos, como la adición de agentes reductores de dicho cromo hexavalente como, por ejemplo, los sulfatos metálicos.

• Curtido de pieles y aplicación de tintes (Ej.: CNAE 151, 13)

Para las aplicaciones de las industrias textiles y de curtido de pieles, existen progresos en diversas alternativas como, por ejemplo:

- Sustitución de sales de Cr (VI) como agente para el curtido de pieles por otras sales metálicas como las de titanio o zirconio.
- Como alternativa a los agentes metálicos, existen avances en el desarrollo de curtidos de tipo vegetal y con polímeros, como, por ejemplo, los reportados en el portal de sustitución SUBSPORT [12]:
- Reemplazo de sulfato de Cr (III) por ácido tánico (extraído de hojas y cortezas de árboles) para el curtido de pieles en un caso de estudio reportado por una empresa sueca.

A la hora de abordar el proceso de sustitución de un agente químico peligroso en el lugar de trabajo, se suelen evidenciar dificultades o barreras tanto de tipo técnico como de tipo organizativo.

Las dificultades organizativas pueden salvarse considerando los beneficios que tal sustitución producirá tanto en la mejora de la salud de las personas trabajadoras, y del público en general, como de la propia imagen corporativa de la empresa al poner en el mercado productos más seguros. Además, para salvar algunas de las barreras técnicas más habituales, puede resultar útil:

- Contactar con la empresa proveedora del agente químico.
- Contactar con empresas del mismo sector.
- Apoyarse en el conocimiento del que dispone el centro de trabajo a través de quienes tienen relación con la sustancia a sustituir.
- Consultar información de organismos públicos y entidades europeas e internacionales.





- Reemplazo de sulfato de Cr (III) por oleuropeína (extraído de hojas de olivo) para el curtido de pieles en un caso de estudio reportado por una empresa alemana.
- Sustitución reportada de dicromato sódico utilizado para el tinte de telas y pieles por colorantes reactivos (sustancias orgánicas de coloración intensa que se adhieren mediante reacción química a las fibras) [23].

• Industria de la madera (CNAE 16)

Como agentes para la conservación de la madera, existen avances en alternativas a compuestos de Cr (VI), como el acetato de cobre, carbonato de cobre, citrato de cobre, óxido cúprico y cloruro de zinc [15].

Asimismo, se han reportado casos de sustitución de biocidas como el arsenato de cobre cromado, con presencia de Cr (VI) para aplicaciones de tratamiento de la madera por compuestos con base acuosa de polímeros de silicio, libres de metales pesados y disolventes orgánicos [12].

• Industrias químicas y farmacéuticas (CNAE 20,21)

Existen avances significativos en el estudio y/o desarrollo de catalizadores alternativos que reemplazan el uso tradicional del cromo para diversos procesos de obtención de productos químicos, siendo algunos ejemplos los siguientes ([17], [18], [19], [20]):

- Catalizadores con base de óxidos de hierro, cobre y Cr (III) para obtención de diversos productos a partir de gas de síntesis como el metanol, el amoníaco, el hidrógeno, etc.
- Catalizadores con base de óxidos de hierro, cobre y aluminio para la producción de alcoholes grasos.
- Catalizadores con base Cu/Zn/Al para la síntesis de gamma-butirolactona (usada como disolvente e intermedio en la producción de otros productos químicos).
- Catalizadores con base Cu, Zn para la producción de alcohol furfurílico (utilizado principalmente en la obtención de resinas).
- Por otra parte, para la producción de flavonoides se reportó el caso de un estudio piloto en un Departamento de Investigación de una Universidad italiana para el reemplazo de los catalizadores con cromo y otros agentes tóxicos tradicionalmente empleados, por otros reactivos de menor peligrosidad (flavonas y flavonoles como material de partida y 1,8-Diazabicyclo[5.4.0]undec-7-eno (DBU) como catalizador) [12].





• Industria aeroespacial (CNAE 303)

En la construcción aeronáutica existen importantes progresos en el desarrollo de alternativas especialmente aplicables a los tratamientos superficiales, sellantes y recubrimientos anticorrosivos, como los descritos a continuación:

- Alternativas al anodizado cromico en la industria aeroespacial como tratamiento superficial destinado a proteger las aleaciones de aluminio contra la corrosión. Se plantea la sustitución del ácido cromico [Cr (VI)] como electrolito en dicho proceso por otras alternativas como, por ejemplo, el ácido tartárico-sulfúrico [11].
- Sustitución reportada del Cr (VI) para recubrimientos anticorrosivos y sellantes en el sector aeroespacial por otras alternativas, tales como formulaciones base Cr (III), molibdatos, zirconatos, fosfatos de zinc, etc. [6].



• Aplicaciones en laboratorios (Ej.: CNAE 712; 72)

Existen sustituciones reportadas para diversas actividades relativas a ensayos y análisis técnicos, o Investigación y Desarrollo (I+D), como las siguientes ([12],[23]):

- Reemplazo del ácido cromico, con Cr (VI), como limpiador de material de vidrio en laboratorios por diferentes alternativas, tanto comerciales exentas de cromo como a partir de productos habitualmente presentes en los laboratorios (como sería el caso de soluciones de hidróxido de potasio en etanol o el ácido clorhídrico y otros agentes oxidantes libres de cromo, cuyos riesgos específicos en cualquier caso deberán ser tenidos en cuenta).
- Como alternativa a las mezclas sulfocromicas, con presencia de Cr (VI), en ácido sulfúrico como agente limpiador en laboratorio de investigación, se plantean diversas opciones como las emulsiones complejas de agentes tensoactivos aniónicos y no iónicos, agentes estabilizadores y álcalis.
- Reemplazo del dicromato de potasio como agente limpiador de laboratorio por un compuesto alcalino con base acuosa libre de cromo.





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 reprotóxicos 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) n° 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2008 sobre Clasificación, Etiquetado y Envasado de sustancias y mezclas (Reglamento CLP).
- [4] 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 mezclas químicas (REACH).
- [5] Comisión Europea. 2006. Reference Document on Best Available Techniques for the Surface Treatment of Metals and Plastics.
- [6] Toxic Use Reduction Institute, University of Lowell Massachusetts. 2006. Five Chemicals Study: Alternatives Assessment Process Guidance. Chapter 6. Hexavalent Chromium.
- [7] Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del Sector de Tratamiento de Superficies Metálicas y Plásticas. 2009
- [8] Antonio Marín Ecohabitar Magazine 2011. Cerramientos verticales en bioconstrucción.
- [9] Comisión Europea. 2016. Substitution of chrome plating for the rolls of skin-pass mill
- [10] BAuA. Federal Institute for Occupational Safety and Health. 2020. Survey on technical and economic feasibility of the available alternatives for chromium trioxide on the market in hard/functional and decorative chrome plating.
- [11] Comisión Europea. 2016. Chromium free surface pre-treatments and





sealing of Tartaric Sulphuric Anodizing

[12] SUBSPORT. Portal web de sustitución

[13] Portal web TURI (Toxics Use Reduction Institute). Universidad de Massachusetts

[14] NIOSH. 2013. *Criteria for a Recommended Standard Occupational Exposure to Hexavalent Chromium.*

[15] Foment del Treball. 2011. *Guía práctica para la sustitución de agentes químicos por otros menos peligrosos, en la industria. Revisión de Criterios, Modelos y Tendencias.*

[16] BauA. 2020. TRGS 528. Welding Wok.

[17] Castiglioni, et al., 1996. *Chromium-free catalysts for selective vapor phase hydrogenation of maleic anhydride to γ -butyrolactone.* *Catalysis today*, 27(1-2), 181-186.

[18] Singh, G., et al., 2021. *Catalytic hydrogenation of furfural to furfuryl alcohol over chromium-free catalyst: Enhanced selectivity in the presence of solvent.* *Molecular Catalysis*, 500, 111339.

[19] Meshkani, F., & Rezaei, M. 2014. *A highly active and stable chromium free iron based catalyst for H₂ purification in high temperature water gas shift reaction.* *International journal of hydrogen energy*, 39(32), 18302-18311.

[20] Hattori, Y., et al., 2000. *The development of nonchromium catalyst for fatty alcohol production.* *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 77(12), 1283-1288.

[21] Comisión Europea. 2021. *An assessment of whether the use of specific Chromium (VI) substances in articles should be restricted in accordance with Article 69 (2) of Reach.*





[22] Comisión Europea. 2017. *SCOEL/REC/386 Chromium VI compounds Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits.*

[23] ANSES. *Portal web de sustitución.*

[24] *Roadmap on Carcinogens.* (<https://roadmaponcarcinogens.eu/>).

[25] Agencia Europea para la Seguridad y Salud en el Trabajo. 2023. *Factores de riesgo de cáncer en el ámbito laboral en Europa – primeras conclusiones de la Encuesta sobre la exposición de las personas trabajadoras.*

[26] Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud. (<https://istas.net/>)

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>



FAS.7.1.24

NIPO (en línea): 118-24-031-3