

CARACTERIZACIÓN DE LA EXPOSICIÓN POTENCIAL A CROMO  
HEXAVALENTE DURANTE PROCESOS DE MANTENIMIENTO DE HORNOS DE  
CEMENTO

LUCY MARCELA RODRÍGUEZ VALBUENA  
ANDREA CAROLINA SUÁREZ MORA

Título obtenido:  
Magister en Seguridad y Salud en el trabajo

Tutor:  
Luis Guillermo Araque Muñoz  
Magister en prevención de Riesgos Labores

Universidad del Rosario  
Escuela de Medicina y Ciencias de la Salud  
Bogotá  
2019

# CARACTERIZACIÓN DE LA EXPOSICIÓN POTENCIAL A CROMO HEXAVALENTE DURANTE PROCESOS DE MANTENIMIENTO DE HORNOS DE CEMENTO

A.C Suárez<sup>1</sup>, L.M. Rodríguez<sup>2</sup>, L.G. Araque<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Estudiantes de Maestría en Salud Ocupacional y Ambiental, Universidad del Rosario, Bogotá, Colombia.

<sup>3</sup>Profesor Catedra Maestría en Seguridad y Salud en el Trabajo, Departamento de Salud Pública, Universidad del Rosario Colombia, Master en prevención de Riesgos Labores. Especialista en Higiene Ocupacional.

## RESUMEN

**Introducción:** El cromo hexavalente es un confirmado agente carcinogénico en humanos, presente en diferentes procesos industriales, entre ellos la industria de la producción de cemento. El uso de controles administrativos y de ingeniería al cromo hexavalente en el cemento, disminuye los efectos en la salud a los grupos de trabajadores con exposición similar a este agente químico.

**Objetivo:** Determinar la exposición potencial a nivel ocupacional de Cromo Hexavalente durante los procesos de mantenimiento de hornos de producción de cemento.

**Materiales y métodos:** Estudio descriptivo de corte transversal de caracterizaciones higiénicas en una muestra de 16 trabajadores vinculados al proceso de mantenimiento del horno de dos plantas de cemento expuestos potencialmente a Cromo Hexavalente, donde se incluyeron variables ocupacionales y de determinación cuantitativa de niveles de concentración en aire de cromo hexavalente. El análisis descriptivo se realizó con frecuencias y medidas de tendencias central y dispersión, en busca de asociaciones entre las variables descritas, permitiendo confrontar los estimadores estadísticos con los valores límites permisibles definidos por el gobierno nacional.

**Resultados:** Se obtuvieron magnitudes medias de exposición similares en ambos casos con condiciones de riesgo probable más altas en escenarios en donde el uso de tecnologías de fracturamiento disminuye la magnitud en los peores escenarios de exposición estimada. Para el GES A las exposiciones excedieron el umbral en al menos un 95.18% de los escenarios de 0.0003 mg/m<sup>3</sup>; Para el GES B, las exposiciones excedieron el límite en al menos el 94.98% de los escenarios de exposición.

**Conclusiones:** Las magnitudes encontradas indican que las actividades de mantenimiento de hornos en plantas de cemento representan un riesgo potencial para los trabajadores a Cromo Hexavalente, estas concentraciones advierten la necesidad de implementar medidas de control y vigilancia específicas a trabajadores expuestos a Cromo Hexavalente durante procesos de mantenimiento de hornos.

## INTRODUCCION

El cromo (Cr) es el 21 elemento más común en la corteza terrestre<sup>1</sup>, es un elemento metálico de alto brillo, inoloro, maleable, con un alto punto de fusión y con varios estados de valencia Cr (IV) Cr (II) Cr (VI)<sup>2</sup>, siendo la cromita la presentación en forma natural del Cr<sup>1</sup>. La

ingesta diaria de 50 – 200 µg/d de cromo trivalente Cr (III) facilita la interacción de la insulina con su receptor, influenciando el metabolismo de la glucosa, lípidos y proteínas, sin embargo, el cromo hexavalente Cr (VI) es más fácilmente absorbido por el cuerpo que el Cr (III)<sup>2</sup>.

Las principales exposiciones ocupacionales al Cr (VI) son por la inhalación de polvos, neblinas o humos y contacto cutáneo<sup>5</sup>. Según el informe de cromo de la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR por sus siglas en inglés), muchos trabajadores industriales están expuestos a niveles de Cr (VI) en el aire que exceden los límites de exposición ocupacional aceptados<sup>4</sup>.

Las plantas productoras de cemento son una fuente potencial de cromo atmosférico, con un estimado de cromo 41.2 mg/kg (rango 27.5 – 60 mg/kg) en cemento portland, siendo el cromo soluble 4.1 mg/kg (rango 1.6 – 8.8 mg/kg) de los cuales 2.9 mg/kg es Cr (VI) (rango 0.03 – 7.8 mg/kg)<sup>4</sup>. El cromo en el cemento proviene de: 1) materias primas o combustible, 2) revestimiento de horno construido con ladrillos refractarios (magnesio-cromo) incluyendo las características de reacción en el horno que involucran una alta cantidad de óxido de calcio (CaO), cal libre y álcalis favorables para la oxidación del Cr a Cr (VI), cuya cantidad depende de la presión de oxígeno de la atmosfera del horno 3) deterioro del metal en el proceso de molienda 4) adiciones de yeso, puzolana, escoria de alto horno granulada y polvo de horno de cemento<sup>2</sup>.

El material cementante es una mezcla de materiales inorgánicos que endurecen y desarrollan resistencia, producto de la reacción química con agua por la formación de hidratos, siendo el cemento portland un tipo de cemento hidráulico producido mediante la pulverización de clínker<sup>6</sup>, el cual es producido por materias primas secas o húmedas trituradas y homogeneizadas en una pasta dentro de un horno con un tubo giratorio a temperaturas de 200°C hasta 1400 – 1600°C, este horno está ligeramente inclinado para permitir que los materiales alcancen el otro extremo y se enfríen rápidamente a temperaturas de 100 - 200°C, posteriormente, se le adiciona yeso y otras materias primas en un molino de cemento para obtener un polvo homogéneo<sup>2</sup>.

De acuerdo a la revisión sistemática realizada por la Asociación Americana de Higienistas Industriales del Gobierno (ACGIH por sus siglas en inglés) (2018) sobre de los efectos del Cr (VI), los síntomas de irritación,

atrofia y ulceración de la mucosa nasal se presentaron en trabajadores quienes estaban expuestos a niveles de Cr (VI) y/o a sus compuestos desde 0.004 mg Cr(VI)/m<sup>3</sup> en el año 1975, 0.002 en el año de 1983 y 0.010 mg Cr (VI)/m<sup>3</sup> en el año 2000. Al examinarse el pico de exposición, se observó un Nivel sin Efectos Adversos Observables (NOAEL por sus siglas en inglés) en el rango de 0.0002 – 0.0012 mg Cr (VI)/m<sup>3</sup>, sugiriendo una exposición máxima de TLV – STEL (Valor límite de exposición de corta duración) de 0.0005 mg Cr (VI)/m<sup>3</sup> y un TLV – TWA (Valor límite de exposición ponderado en el tiempo) de 0.0002 mg Cr (VI)/m<sup>3</sup> con fines de protección de irritación severa del tracto respiratorio tanto superior como inferior para los trabajadores. Asimismo, mediante una exhaustiva investigación (U.S. ATSDR 1989, 2012; UK HSE 1989; IARC 1990; IPCS 1988, 2013; U.S. NIOSH, 2013) se identificó a los compuestos de Cr (VI) como causantes de cáncer sinonasal y pulmón de humanos<sup>1,5</sup>, además de encontrarse un riesgo de muerte por cáncer pulmonar de 2 por 1000 trabajadores expuestos a 0.001 mg/m<sup>3</sup> en su vida laboral. Con base en lo anterior, todos los compuestos de Cr (VI) son asignados A1 Confirmado Agente Carcinogénico en Humanos.

En Colombia, a través de la aplicación de la metodología del Sistema de Información sobre la Exposición ocupacional a Agentes Carcinogénicos (CAREX), se estimó que 52.654 trabajadores afiliados al Sistema General de Riesgos Laborales están expuestos a Cr (VI) y compuestos, siendo este agente el quinceavo agente carcinogénico con mayor porcentaje estimado de trabajadores expuestos en Colombia<sup>12</sup>.

El cromo en su estado de oxidación trivalente no tóxico está presente en las materias primas (arcilla, cal o mineral) utilizadas para la producción de cemento<sup>17</sup>. En el proceso de formación del Clinker, la temperatura del material en el horno oscila entre 1.400 a 1500°C correspondientes a temperaturas de llama de cerca de 2.000°C. La reacción de clinkerización se realiza bajo condiciones oxidantes, por lo tanto, se requiere un exceso de aire en la zona de sinterización del horno<sup>26</sup>, lo que permite que el cromo trivalente se oxide en forma hexavalente reactiva.

El presente estudio descriptivo de corte transversal permitió determinar la exposición potencial a nivel ocupacional de Cromo Hexavalente durante los procesos de mantenimiento de hornos de producción de cemento, durante paradas mayores a través de un proceso evaluativo aplicable a Grupos de Exposición Similar a fin de controlar la variabilidad espacio temporal de las exposiciones, los estimadores estadísticos de tendencia central y máximo riesgo fueron comparados con los valores límite permisibles establecidos por la Conferencia Americana de Higienistas Industriales del Gobierno (ACGIH) corregidos a jornadas nominales de trabajo, las determinaciones analíticas fueron conducidas en un laboratorio acreditado AIHA en Estados Unidos, las cuales se realizaron bajo las consideraciones metodológicas definidas por la Administración de

Seguridad y Salud Ocupacional de los Estados Unidos por Cromatografía Iónica con detección Ultravioleta.

**Palabras clave:** Cromo, compuestos de cromo, industria del cemento, materiales de construcción, trabajadores.

## MÉTODOS

Se realizó un estudio descriptivo de corte transversal en 16 trabajadores durante procesos de mantenimiento de 2 hornos de producción de cemento de empresas diferentes. Las mediciones de exposición individual a Cromo Hexavalente fueron realizadas por una empresa consultora en higiene ocupacional de acuerdo a los protocolos establecidos por el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH) y la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA)<sup>14–16</sup>.

El diseño del instrumento para la recolección de información consistió en la construcción de una base de datos global con datos específicos de control de la calidad de las determinaciones higiénicas.

El proceso de Caracterización Básica involucró la organización de trabajadores en grupos funcionales específicos teniendo en cuenta los procesos, tareas y factores comunes de exposición durante las actividades de mantenimiento mayor de hornos, este ejercicio permitió estructurar a la población laboral en 2 Grupos de Exposición Similar relativo a 1 por cada compañía de producción de cemento, dadas las tecnologías empleadas y características de Hornos en mantenimiento.

Teniendo en cuenta recomendaciones y consideraciones técnicas de los métodos de toma de muestra y análisis de referencia se utilizaron bombas de muestreo personal de flujo graduable calibradas a un caudal de flujo constante de acuerdo al método de toma de muestra y análisis definidos en el estándar OSHA ID215v2 determinación de cromo hexavalente por Cromatografía Iónica con Detección ultravioleta.

El sistema de captación se ubicó próximo a la atmosfera respiratoria del trabajador el cual correspondió a la semiesfera de 300 mm de diámetro que se extiende por delante de su cara y cuyo centro está en el punto medio de la línea bisecante a sus orejas. Posteriormente el medio fue enviado a un laboratorio acreditado AIHA, para determinación de los contaminantes químicos objeto de análisis.

La calibración de campo incluyó una verificación de los caudales pre y post medición, esta consistió en aplicar antes de cada serie de mediciones y al final de cada serie diaria de mediciones, una calibración de campo en un emplazamiento limpio similar en condiciones de presión y temperatura a las condiciones de campo, mediante un calibrador de burbuja jabonosa debidamente calibrado electrónicamente. Para el control del muestreo se acudió a desechar aquellas que representaran diferencias de

calibración superiores al 5%, caso que no se produjo en el presente proceso evaluativo.

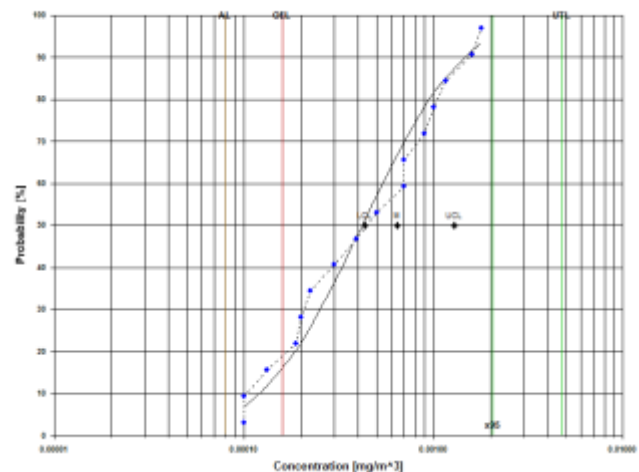
Una vez realizadas las mediciones y teniendo en cuenta las concentraciones halladas se procesaron estadísticamente los resultados de cada grupo de exposición similar mediante software LogNorm2® Version 2.9 para Windows.

Para la presente investigación se tuvo en cuenta el criterio establecido por la Conferencia Americana de Higienistas Industriales del Gobierno (ACGIH), adicionalmente con el fin de ajustarse a la Jornada Laboral Colombiana establecida por el marco legal en 48 horas semana, se realizó un ajuste acudiendo al modelo de Brief & Scala, en el entendido que los valores de referencia recomendados por la Asociación están definidos para 40 horas, en este sentido se adoptó un valor de referencia de 0.00016 mg/m<sup>3</sup> que soporta efectos asociados de Cáncer Pulmonar y Sino nasal, Irritación de Tracto Respiratorio Superior Asma.

## RESULTADOS

Teniendo en cuenta los resultados individuales en comparación con el valor de referencia aplicable a Cromo Hexavalente, es posible establecer que la tendencia general de exposiciones se encuentra superando en su mayoría los umbrales límite definidos para jornadas diarias, del total de muestras (16), el 75% (12 determinaciones higiénicas personales) se encontraron por encima del umbral límite permisible y un 25% (4 evaluaciones), presentaron concentraciones que superaron el valor que da lugar a una acción establecidos en el 50% del umbral límite.

Considerando la integralidad de los resultados de acuerdo a la distribución de probabilidad Log Normal, se puede inferir con un 95% de confianza que las exposiciones excedieron el umbral límite permisible cerca del 94% de los casos, los valores medios de exposición ajustados a varianza, presentaron magnitudes de tendencia central cercanos a 0.0006 mg/m<sup>3</sup>, estimador que se encontró entre un Límite de Confianza Inferior (LCL) de 0.0004 mg/m<sup>3</sup> y un Límite de Confianza Superior (UCL) de 0.0013 mg/m<sup>3</sup>, soportados sobre las consideraciones NIOSH asociadas al grado de certeza sobre la tendencia de exposición, se puede inferir que al superar el límite de confianza inferior el límite admisible la fracción de excedencia del 95% es representativa del riesgo potencial, de igual modo se puede inferir que los resultados independiente de que hayan sido realizados en escenarios independientes, guardan algún grado de homogeneidad teniendo en cuenta la desviación estándar geométrica de la distribución Log Normal de 2.62, en este sentido el límite de tolerancia máximo UTL (95% UCL de X(95%)) no representa apropiadamente la condición de riesgo en situación más desfavorable (peor caso) (gráfica 1).

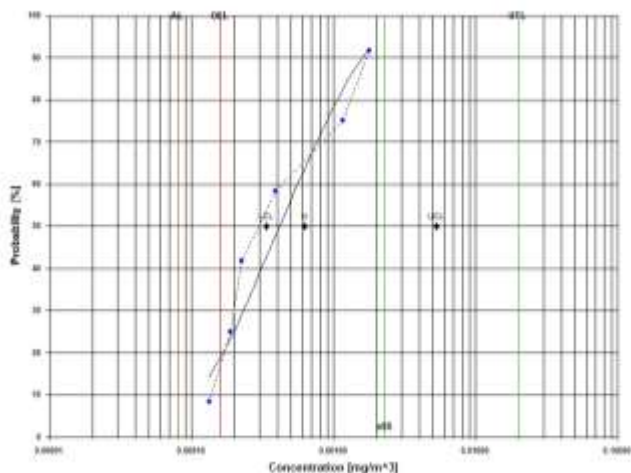


**Gráfica 1. Función de Distribución Acumulativa Log Normal a Cromo VI Muestra Mantenimiento de Hornos de Cemento.**

A fin de controlar la variabilidad interexposiciones fueron conformados 2 Grupos de Exposición Similar con el propósito de identificar si las variables asociadas a circunstancias de exposición y condiciones de trabajo diferenciadas podrían explicar cambios en los patrones de exposición potencial.

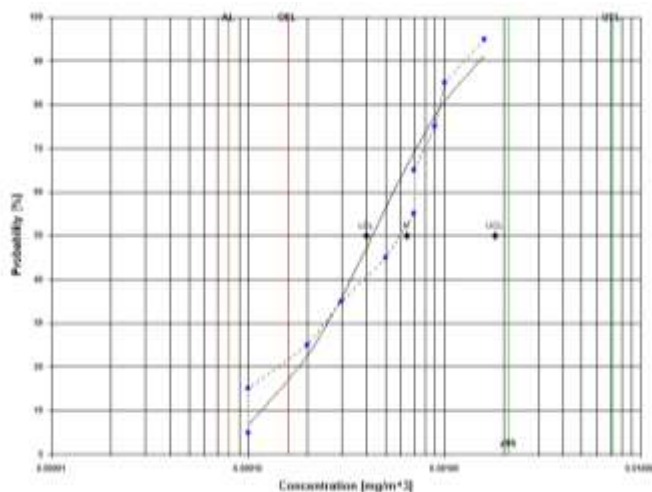
Los procesos de mantenimiento de hornos en paradas mayores involucran de forma dominante la ruptura de costra y reemplazo de ladrillos refractarios, condiciones de trabajo que se reprodujeron en ambos escenarios de exposición; las diferencias existentes involucraron los tiempos de mantenimiento, el personal ocupacionalmente expuesto y las tecnologías de fracturamiento por medio de taladros neumáticos semiautomáticos o de operación manual, así mismo la tipología de revestimientos refractarios y las diferencias en las características del cemento producido en cada caso, sumaron como variables que pueden incidir en un cambio en las condiciones de exposición potencial.

Para el caso del Grupo de Exposición Similar A (GES A) un total de 6 muestras de jornada completa (8 horas) fueron practicadas en trabajadores que desarrollaron actividades de mantenimiento mayor, las tareas asociadas involucraron operación de taladro neumático, perforación y desmonte del ladrillo refractario sobre el cuello de la salida del horno y funciones de remoción y disposición de residuos. Para este caso de acuerdo a la prueba de bondad de ajuste se recomendó una distribución Log Normal sobre una distribución normal (0.9062>0.7999), el estimador insesgado de varianza mínima presentó valores de 0.0006 mg/m<sup>3</sup>, con un margen de cobertura unilateral asociado al límite de confianza superior de 0.0053 mg/m<sup>3</sup>, la desviación estándar geométrica del GES se encontró en una moderada dispersión equivalente a 2.85, considerando los valores encontrados en comparación con el umbral límite ajustado, se puede concluir, con un nivel de confianza del 95%, que las exposiciones excedieron el umbral en al menos un 95.18% de los escenarios de 0.0003 mg/m<sup>3</sup> correspondiendo al 51.87% (gráfica 2).



**Gráfica 2. Función de Distribución Acumulativa Log Normal a Cromo VI Grupo de Exposición Similar A.**

En el caso del Grupo B, diferenciado en las tecnologías de fracturamiento y remoción en donde se usaron taladros semiautomáticos con la operación a distancia del equipo, en este caso debido a las actividades de remoción, el subconjunto de datos fue mayor correspondiendo a 10 evaluaciones personales de jornada completa. De acuerdo al análisis de prueba de bondad de ajuste a la mejor distribución que representa el conjunto de datos analizado fue del tipo Log Normal al encontrarse  $0.9197 > 0.9168$ , siguiendo la prueba de Shapiro Wilk. En base a los hallazgos el estimador insesgado de varianza mínima fue de  $0.0006 \text{ mg/m}^3$ , valor que se encontró entre un límite de confianza inferior de  $0.0004 \text{ mg/m}^3$  y un límite de confianza superior de  $0.0018 \text{ mg/m}^3$ , asociados a una desviación estándar geométrica de 2.63. De acuerdo a los valores calculados con un nivel de confianza del 95% las exposiciones exceden el límite de exposición al menos el 94.98% de los escenarios de exposición contemplados, finalmente la fracción de excedancia respecto al límite de confianza inferior fue del 63.60% (gráfica 3).



**Gráfica 3. Función de Distribución Acumulativa Log Normal a Cromo VI Grupo de Exposición Similar B.**

En comparación, los dos estratos en observación presentan similitudes con relación a la tendencia media de exposición, por cuanto los valores asociados al

estimador insesgado de varianza mínima presento valores equivalentes. Se encontraron sutiles diferencias con relación al caso más favorable de exposición asociado al límite de confianza inferior con una diferencia de  $0.0001 \text{ mg/m}^3$  entre el GES A y GES B y diferencias significativas entre la condición de mayor riesgo probable, asociando el límite de confianza superior entre el GES A  $0.0053 \text{ mg/m}^3$  versus el GES B  $0.0018 \text{ mg/m}^3$ .

GES	MVUE mg/m <sup>3</sup>	LCL mg/m <sup>3</sup>	UCL mg/m <sup>3</sup>	GSD
GES A	0.0006	0.0003	0.0053	2.85
GES B	0.0006	0.0004	0.0018	2.63

**Tabla 1. Estimadores Estadísticos de Tendencia Central y Límites de Confianza muestras de Cr VI**

Finalmente, fue realizada una prueba intercomparativa mediante Análisis de Varianza (ANOVA) para determinar la representatividad de los valores medios de exposición entre GES, los resultados advierten que no existen cambios significativos con un nivel de significancia del 0.05 basados en la prueba de igualdad de las dos varianzas obtenidas.

## DISCUSIÓN

Basados en los procesamientos estadísticos aplicables a Grupos de Exposición Similar y calculados el Estimador Insesgado de Varianza Mínima (MVUE) como medida de tendencia central, el cual, en confrontación con el valor límite permisible, permite determinar la dosis media de los trabajadores vinculados al GES, y Limite de Confianza Superior (UCL) como estimador de condición de peor caso, el cual ofrece una medida de la máxima condición de riesgo probable a la cual se puede ver sometido cualquier miembro del GES, es posible concluir, que ambos grupos exceden el límite de exposición ocupacional a cromo hexavalente durante actividades de mantenimiento mayor de hornos de producción de cemento portland.

La magnitud media de las exposiciones de trabajadores vinculados a ambos estratos no presentaron mayores diferencias, permitiendo establecer que el uso de dispositivos semiautomáticos a distancia, reducen las magnitudes máximas de trabajadores, considerando que no existieron diferencias significativas entre las desviaciones estándar geométricas intergrupales.

Las fracciones de excedancia respecto a los límites de confianza inferior en los GES, también presentaron diferencias significativas con una proporción cercana al 10% en el caso más favorable de exposición potencial, sin embargo, ambas se encontraron por encima del 50%, permitiendo establecer que, en el caso de menor riesgo potencial, existe una probabilidad superior al 50% de superar el límite de exposición ocupacional ajustado.

## CONCLUSIONES

Según Bodaghpour et al (2012), el cromo en el cemento proviene del horno con ladrillos con magnesio – cromo y las condiciones en el mismo horno, las cuales incluyen

una alta cantidad de óxido de calcio (CaO), cal libre y álcalis favorables para la oxidación del Cr a Cr (VI) y las adiciones de yeso, puzolana y escoria de alto horno granulada con el polvo del horno<sup>2</sup>. En este sentido, el mantenimiento de los hornos permite mantener un producto sin exceder las 2 ppm de Cr (VI), y así evitar los efectos producidos por el Cr (VI) en la salud de la población que utiliza el cemento o las preparaciones a base de cemento.

Las magnitudes encontradas advierten que las actividades de mantenimiento de hornos en plantas de cemento representan un riesgo potencial para los trabajadores a Cromo Hexavalente, sin embargo, es preciso resaltar que se tratan de actividades de trabajo no rutinarias, que no reflejan necesariamente la dosis de largo término de trabajadores vinculados a las actividades de trabajo, salvo que estas se realicen de manera continua por trabajadores especializados en este tipo de tareas.

Se evidencia el impacto en la implementación de controles de ingeniería en las magnitudes máximas estimadas, con lo cual deben reforzarse dichos controles para mitigar el riesgo potencial. Resulta igualmente necesario, enfatizar en las medidas de vigilancia en salud y protección personal respiratoria para reducir la probabilidad de impacto respiratorio y dérmico.

Se requiere profundizar en este tipo de estudios para ofrecer un panorama de otros escenarios de exposición potencial a Cromo Hexavalente en actividades que involucren la producción, comercialización y usos del cemento.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Association Advancing Occupational and Environmental Health - ACGIH. Chromium and inorganic compounds. 2004;3(24):1-30.
2. Bodaghpour S, Joo NB, Ahmadi S. A review on the existence of chrome in cement and environmental remedies to control its effects. 2012;6(2):62-67.
3. European chemicals Bureau. Chromium Trioxide, Sodium Chromate, Sodium Dichromate, Ammonium Dichromate and Potassium Dichromate. *Eur Union Risk Assess Rep*. 2005;53.
4. Agency for toxic substances and disease registry - ATDSR. *Toxicological Profile for Chromium*. Vol 3. Atlanta, Georgia; 2012. doi:10.1016/j.jenvrad.2011.11.007
5. International Agency for Research on Cancer - IARC. Arsenic, Metals, Fibres and Dusts. In: *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, No. 100C*. Vol 1989. ; 2008:147-167.
6. Icontec Internacional. Norma Técnica Colombiana NTC 31 - Cementos. Definiciones. Terminología relacionada con el cemento hidráulico. 2017.
7. Trezza MA, Scian AN. Waste with chrome in the Portland cement clinker production. 2007;147:188-196. doi:10.1016/j.jhazmat.2006.12.082
8. Bae S, Hikaru F, Kanematsu M, et al. Removal of Hexavalent chromium in Portland cement using ground granulated blast-furnace slag powder. *Materials (Basel)*. 2017;11(1):1-18. doi:10.3390/ma11010011
9. Eštoková A, Palaš L, Singovszká E, Holub M. Analysis of the chromium concentrations in cement materials. *Pocedia Engineering*. 2012;42(August):123-130. doi:10.1016/j.proeng.2012.07.402
10. Scientific Committee on toxicity ecotoxicity and the environment (CSTEE). *Opinion on Risks to Health from Chromium VI in Cement*. Bruselas; 2002.
11. Estokova, Adriana; Palascakova, Lenka; Kanuchova M. Study on Cr ( VI ) Leaching from Cement and Cement Composites. *Int J Environ Res Public Health*. 2018;(VI):1-13. doi:10.3390/ijerph15040824
12. Instituto Nacional de Cancerología ESE. *Análisis de Situación Del Cáncer En Colombia 2015.*; 2015. doi:Book\_Doi 10.1201/9781420072884
13. Asociación de productos minerales (MPA) - Cementos. *Chromium (VI) and Cement - Legislation.*; 2007.
14. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). *Determinación de Cromo Hexavalente En Aire (Fracción Inhalable) - Método de Captación En Filtro / Cromatografía Iónica - MTA/MA - 063/A14*. España; 2015.
15. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). *Determinación de Cromo Hexavalente En Aire - Criterios y Recomendaciones CR-10/2016*. España; 2016.
16. Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional - NIOSH. Chromium Hexavalent: Method 7600 - Manual of Analytical Methods (NMAM) 7600. 2015;(3):3-7.

# CARACTERIZACIÓN DE LA EXPOSICIÓN POTENCIAL A CROMO HEXAVALENTE DURANTE PROCESOS DE MANTENIMIENTO DE HORNO DE CEMENTO

A.C Suárez<sup>1</sup>, L.M. Rodríguez<sup>2</sup>, L.G. Araque<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Estudiantes de Maestría en Salud Ocupacional y Ambiental, Universidad del Rosario, Bogotá, Colombia.

<sup>3</sup>Profesor Catedra Maestría en Seguridad y Salud en el Trabajo, Departamento de Salud Pública, Universidad del Rosario Colombia, Master en prevención de Riesgos Labores. Especialista en Higiene Ocupacional.

## RESUMEN

**Introducción:** El cromo hexavalente es un confirmado agente carcinogénico en humanos, presente en diferentes procesos industriales, entre ellos la industria de la producción de cemento. El uso de controles administrativos y de ingeniería al cromo hexavalente en el cemento, disminuye los efectos en la salud a los grupos de trabajadores con exposición similar a este agente químico.

**Objetivo:** Determinar la exposición potencial a nivel ocupacional de Cromo Hexavalente durante los procesos de mantenimiento de hornos de producción de cemento.

**Materiales y métodos:** Estudio descriptivo de corte transversal de caracterizaciones higiénicas en una muestra de 16 trabajadores vinculados al proceso de mantenimiento del horno de dos plantas de cemento expuestos potencialmente a Cromo Hexavalente, donde se incluyeron variables ocupacionales y de determinación cuantitativa de niveles de concentración en aire de cromo hexavalente. El análisis descriptivo se realizó con frecuencias y medidas de tendencias central y dispersión, en busca de asociaciones entre las variables descritas, permitiendo confrontar los estimadores estadísticos con los valores límites permisibles definidos por el gobierno nacional.

**Resultados:** Se obtuvieron magnitudes medias de exposición similares en ambos casos con condiciones de riesgo probable más altas en escenarios en donde el uso de tecnologías de fracturamiento disminuye la magnitud en los peores escenarios de exposición estimada. Para el GES A las exposiciones excedieron el umbral en al menos un 95.18% de los escenarios de 0.0003 mg/m<sup>3</sup>; Para el GES B, las exposiciones excedieron el límite en al menos el 94.98% de los escenarios de exposición.

**Conclusiones:** Las magnitudes encontradas indican que las actividades de mantenimiento de hornos en plantas de cemento representan un riesgo potencial para los trabajadores a Cromo Hexavalente, estas concentraciones advierten la necesidad de implementar medidas de control y vigilancia específicas a trabajadores expuestos a Cromo Hexavalente durante procesos de mantenimiento de hornos.

## INTRODUCCION

El cromo (Cr) es el 21 elemento más común en la corteza terrestre<sup>1</sup>, es un elemento metálico de alto brillo, inoloro, maleable, con un alto punto de fusión y con varios estados de valencia Cr (IV) Cr (II) Cr (VI)<sup>2</sup>, siendo la cromita la presentación en forma natural del Cr<sup>1</sup>. La

ingesta diaria de 50 – 200 µg/d de cromo trivalente Cr (III) facilita la interacción de la insulina con su receptor, influenciando el metabolismo de la glucosa, lípidos y proteínas, sin embargo, el cromo hexavalente Cr (VI) es más fácilmente absorbido por el cuerpo que el Cr (III)<sup>2</sup>.

Las principales exposiciones ocupacionales al Cr (VI) son por la inhalación de polvos, neblinas o humos y contacto cutáneo<sup>5</sup>. Según el informe de cromo de la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR por sus siglas en inglés), muchos trabajadores industriales están expuestos a niveles de Cr (VI) en el aire que exceden los límites de exposición ocupacional aceptados<sup>4</sup>.

Las plantas productoras de cemento son una fuente potencial de cromo atmosférico, con un estimado de cromo 41.2 mg/kg (rango 27.5 – 60 mg/kg) en cemento portland, siendo el cromo soluble 4.1 mg/kg (rango 1.6 – 8.8 mg/kg) de los cuales 2.9 mg/kg es Cr (VI) (rango 0.03 – 7.8 mg/kg)<sup>4</sup>. El cromo en el cemento proviene de: 1) materias primas o combustible, 2) revestimiento de horno construido con ladrillos refractarios (magnesio-cromo) incluyendo las características de reacción en el horno que involucran una alta cantidad de óxido de calcio (CaO), cal libre y álcalis favorables para la oxidación del Cr a Cr (VI), cuya cantidad depende de la presión de oxígeno de la atmósfera del horno 3) deterioro del metal en el proceso de molienda 4) adiciones de yeso, puzolana, escoria de alto horno granulada y polvo de horno de cemento<sup>2</sup>.

El material cementante es una mezcla de materiales inorgánicos que endurecen y desarrollan resistencia, producto de la reacción química con agua por la formación de hidratos, siendo el cemento portland un tipo de cemento hidráulico producido mediante la pulverización de clínker<sup>6</sup>, el cual es producido por materias primas secas o húmedas trituradas y homogeneizadas en una pasta dentro de un horno con un tubo giratorio a temperaturas de 200°C hasta 1400 – 1600°C, este horno está ligeramente inclinado para permitir que los materiales alcancen el otro extremo y se enfríen rápidamente a temperaturas de 100 - 200°C, posteriormente, se le adiciona yeso y otras materias primas en un molino de cemento para obtener un polvo homogéneo<sup>2</sup>.

De acuerdo a la revisión sistemática realizada por la Asociación Americana de Higienistas Industriales del Gobierno (ACGIH por sus siglas en inglés) (2018) sobre de los efectos del Cr (VI), los síntomas de irritación,

atrofia y ulceración de la mucosa nasal se presentaron en trabajadores quienes estaban expuestos a niveles de Cr (VI) y/o a sus compuestos desde 0.004 mg Cr(VI)/m<sup>3</sup> en el año 1975, 0.002 en el año de 1983 y 0.010 mg Cr (VI)/m<sup>3</sup> en el año 2000. Al examinarse el pico de exposición, se observó un Nivel sin Efectos Adversos Observables (NOAEL por sus siglas en inglés) en el rango de 0.0002 – 0.0012 mg Cr (VI)/m<sup>3</sup>, sugiriendo una exposición máxima de TLV – STEL (Valor límite de exposición de corta duración) de 0.0005 mg Cr (VI)/m<sup>3</sup> y un TLV – TWA (Valor límite de exposición ponderado en el tiempo) de 0.0002 mg Cr (VI)/m<sup>3</sup> con fines de protección de irritación severa del tracto respiratorio tanto superior como inferior para los trabajadores. Asimismo, mediante una exhaustiva investigación (U.S. ATSDR 1989, 2012; UK HSE 1989; IARC 1990; IPCS 1988, 2013; U.S. NIOSH, 2013) se identificó a los compuestos de Cr (VI) como causantes de cáncer sinonasal y pulmón de humanos<sup>1,5</sup>, además de encontrarse un riesgo de muerte por cáncer pulmonar de 2 por 1000 trabajadores expuestos a 0.001 mg/m<sup>3</sup> en su vida laboral. Con base en lo anterior, todos los compuestos de Cr (VI) son asignados A1 Confirmado Agente Carcinogénico en Humanos.

En Colombia, a través de la aplicación de la metodología del Sistema de Información sobre la Exposición ocupacional a Agentes Carcinogénicos (CAREX), se estimó que 52.654 trabajadores afiliados al Sistema General de Riesgos Laborales están expuestos a Cr (VI) y compuestos, siendo este agente el quinceavo agente carcinogénico con mayor porcentaje estimado de trabajadores expuestos en Colombia<sup>12</sup>.

El cromo en su estado de oxidación trivalente no tóxico está presente en las materias primas (arcilla, cal o mineral) utilizadas para la producción de cemento<sup>17</sup>. En el proceso de formación del Clinker, la temperatura del material en el horno oscila entre 1.400 a 1500°C correspondientes a temperaturas de llama de cerca de 2.000°C. La reacción de clinkerización se realiza bajo condiciones oxidantes, por lo tanto, se requiere un exceso de aire en la zona de sinterización del horno<sup>26</sup>, lo que permite que el cromo trivalente se oxide en forma hexavalente reactiva.

El presente estudio descriptivo de corte transversal permitió determinar la exposición potencial a nivel ocupacional de Cromo Hexavalente durante los procesos de mantenimiento de hornos de producción de cemento, durante paradas mayores a través de un proceso evaluativo aplicable a Grupos de Exposición Similar a fin de controlar la variabilidad espacio temporal de las exposiciones, los estimadores estadísticos de tendencia central y máximo riesgo fueron comparados con los valores límite permisibles establecidos por la Conferencia Americana de Higienistas Industriales del Gobierno (ACGIH) corregidos a jornadas nominales de trabajo, las determinaciones analíticas fueron conducidas en un laboratorio acreditado AIHA en Estados Unidos, las cuales se realizaron bajo las consideraciones metodológicas definidas por la Administración de

Seguridad y Salud Ocupacional de los Estados Unidos por Cromatografía Iónica con detección Ultravioleta.

**Palabras clave:** Cromo, compuestos de cromo, industria del cemento, materiales de construcción, trabajadores.

## MÉTODOS

Se realizó un estudio descriptivo de corte transversal en 16 trabajadores durante procesos de mantenimiento de 2 hornos de producción de cemento de empresas diferentes. Las mediciones de exposición individual a Cromo Hexavalente fueron realizadas por una empresa consultora en higiene ocupacional de acuerdo a los protocolos establecidos por el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH) y la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA)<sup>14–16</sup>.

El diseño del instrumento para la recolección de información consistió en la construcción de una base de datos global con datos específicos de control de la calidad de las determinaciones higiénicas.

El proceso de Caracterización Básica involucró la organización de trabajadores en grupos funcionales específicos teniendo en cuenta los procesos, tareas y factores comunes de exposición durante las actividades de mantenimiento mayor de hornos, este ejercicio permitió estructurar a la población laboral en 2 Grupos de Exposición Similar relativo a 1 por cada compañía de producción de cemento, dadas las tecnologías empleadas y características de Hornos en mantenimiento.

Teniendo en cuenta recomendaciones y consideraciones técnicas de los métodos de toma de muestra y análisis de referencia se utilizaron bombas de muestreo personal de flujo graduable calibradas a un caudal de flujo constante de acuerdo al método de toma de muestra y análisis definidos en el estándar OSHA ID215v2 determinación de cromo hexavalente por Cromatografía Iónica con Detección ultravioleta.

El sistema de captación se ubicó próximo a la atmosfera respiratoria del trabajador el cual correspondió a la semiesfera de 300 mm de diámetro que se extiende por delante de su cara y cuyo centro está en el punto medio de la línea bisecante a sus orejas. Posteriormente el medio fue enviado a un laboratorio acreditado AIHA, para determinación de los contaminantes químicos objeto de análisis.

La calibración de campo incluyó una verificación de los caudales pre y post medición, esta consistió en aplicar antes de cada serie de mediciones y al final de cada serie diaria de mediciones, una calibración de campo en un emplazamiento limpio similar en condiciones de presión y temperatura a las condiciones de campo, mediante un calibrador de burbuja jabonosa debidamente calibrado electrónicamente. Para el control del muestreo se acudió a desechar aquellas que representaran diferencias de

calibración superiores al 5%, caso que no se produjo en el presente proceso evaluativo.

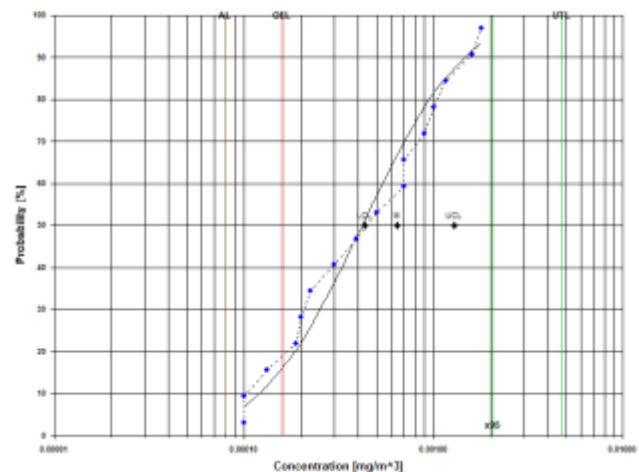
Una vez realizadas las mediciones y teniendo en cuenta las concentraciones halladas se procesaron estadísticamente los resultados de cada grupo de exposición similar mediante software LogNorm2® Version 2.9 para Windows.

Para la presente investigación se tuvo en cuenta el criterio establecido por la Conferencia Americana de Higienistas Industriales del Gobierno (ACGIH), adicionalmente con el fin de ajustarse a la Jornada Laboral Colombiana establecida por el marco legal en 48 horas semana, se realizó un ajuste acudiendo al modelo de Brief & Scala, en el entendido que los valores de referencia recomendados por la Asociación están definidos para 40 horas, en este sentido se adoptó un valor de referencia de 0.00016 mg/m<sup>3</sup> que soporta efectos asociados de Cáncer Pulmonar y Sino nasal, Irritación de Tracto Respiratorio Superior Asma.

## RESULTADOS

Teniendo en cuenta los resultados individuales en comparación con el valor de referencia aplicable a Cromo Hexavalente, es posible establecer que la tendencia general de exposiciones se encuentra superando en su mayoría los umbrales límite definidos para jornadas diarias, del total de muestras (16), el 75% (12 determinaciones higiénicas personales) se encontraron por encima del umbral límite permisible y un 25% (4 evaluaciones), presentaron concentraciones que superaron el valor que da lugar a una acción establecidos en el 50% del umbral límite.

Considerando la integralidad de los resultados de acuerdo a la distribución de probabilidad Log Normal, se puede inferir con un 95% de confianza que las exposiciones excedieron el umbral límite permisible cerca del 94% de los casos, los valores medios de exposición ajustados a varianza, presentaron magnitudes de tendencia central cercanos a 0.0006 mg/m<sup>3</sup>, estimador que se encontró entre un Límite de Confianza Inferior (LCL) de 0.0004 mg/m<sup>3</sup> y un Límite de Confianza Superior (UCL) de 0.0013 mg/m<sup>3</sup>, soportados sobre las consideraciones NIOSH asociadas al grado de certeza sobre la tendencia de exposición, se puede inferir que al superar el límite de confianza inferior el límite admisible la fracción de excedencia del 95% es representativa del riesgo potencial, de igual modo se puede inferir que los resultados independiente de que hayan sido realizados en escenarios independientes, guardan algún grado de homogeneidad teniendo en cuenta la desviación estándar geométrica de la distribución Log Normal de 2.62, en este sentido el límite de tolerancia máximo UTL (95% UCL de X(95%)) no representa apropiadamente la condición de riesgo en situación más desfavorable (peor caso) (gráfica 1).

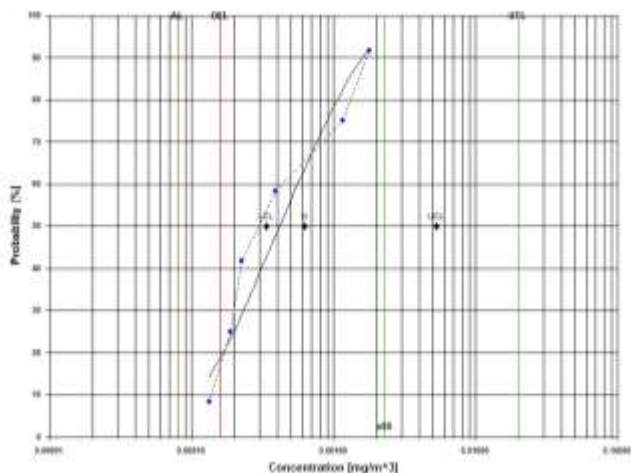


**Gráfica 1. Función de Distribución Acumulativa Log Normal a Cromo VI Muestra Mantenimiento de Hornos de Cemento.**

A fin de controlar la variabilidad interexposiciones fueron conformados 2 Grupos de Exposición Similar con el propósito de identificar si las variables asociadas a circunstancias de exposición y condiciones de trabajo diferenciadas podrían explicar cambios en los patrones de exposición potencial.

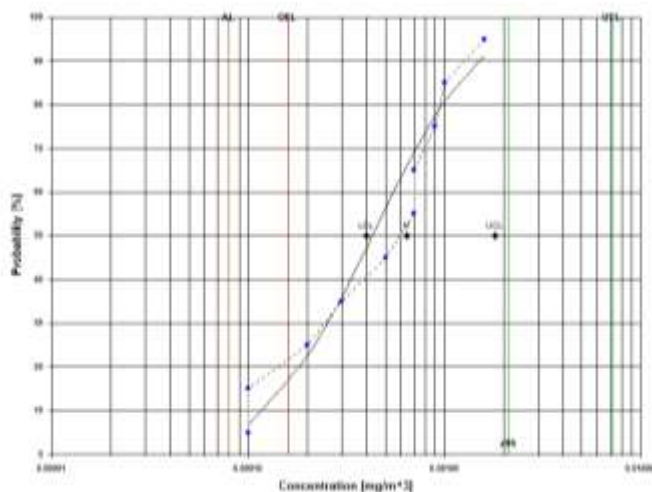
Los procesos de mantenimiento de hornos en paradas mayores involucran de forma dominante la ruptura de costra y reemplazo de ladrillos refractarios, condiciones de trabajo que se reprodujeron en ambos escenarios de exposición; las diferencias existentes involucraron los tiempos de mantenimiento, el personal ocupacionalmente expuesto y las tecnologías de fracturamiento por medio de taladros neumáticos semiautomáticos o de operación manual, así mismo la tipología de revestimientos refractarios y las diferencias en las características del cemento producido en cada caso, sumaron como variables que pueden incidir en un cambio en las condiciones de exposición potencial.

Para el caso del Grupo de Exposición Similar A (GES A) un total de 6 muestras de jornada completa (8 horas) fueron practicadas en trabajadores que desarrollaron actividades de mantenimiento mayor, las tareas asociadas involucraron operación de taladro neumático, perforación y desmonte del ladrillo refractario sobre el cuello de la salida del horno y funciones de remoción y disposición de residuos. Para este caso de acuerdo a la prueba de bondad de ajuste se recomendó una distribución Log Normal sobre una distribución normal ( $0.9062 > 0.7999$ ), el estimador insesgado de varianza mínima presentó valores de 0.0006 mg/m<sup>3</sup>, con un margen de cobertura unilateral asociado al límite de confianza superior de 0.0053 mg/m<sup>3</sup>, la desviación estándar geométrica del GES se encontró en una moderada dispersión equivalente a 2.85, considerando los valores encontrados en comparación con el umbral límite ajustado, se puede concluir, con un nivel de confianza del 95%, que las exposiciones excedieron el umbral en al menos un 95.18% de los escenarios de 0.0003 mg/m<sup>3</sup> correspondiendo al 51.87% (gráfica 2).



**Gráfica 2. Función de Distribución Acumulativa Log Normal a Cromo VI Grupo de Exposición Similar A.**

En el caso del Grupo B, diferenciado en las tecnologías de fracturamiento y remoción en donde se usaron taladros semiautomáticos con la operación a distancia del equipo, en este caso debido a las actividades de remoción, el subconjunto de datos fue mayor correspondiendo a 10 evaluaciones personales de jornada completa. De acuerdo al análisis de prueba de bondad de ajuste a la mejor distribución que representa el conjunto de datos analizado fue del tipo Log Normal al encontrarse  $0.9197 > 0.9168$ , siguiendo la prueba de Shapiro Wilk. En base a los hallazgos el estimador insesgado de varianza mínima fue de  $0.0006 \text{ mg/m}^3$ , valor que se encontró entre un límite de confianza inferior de  $0.0004 \text{ mg/m}^3$  y un límite de confianza superior de  $0.0018 \text{ mg/m}^3$ , asociados a una desviación estándar geométrica de 2.63. De acuerdo a los valores calculados con un nivel de confianza del 95% las exposiciones exceden el límite de exposición al menos el 94.98% de los escenarios de exposición contemplados, finalmente la fracción de excedancia respecto al límite de confianza inferior fue del 63.60% (gráfica 3).



**Gráfica 3. Función de Distribución Acumulativa Log Normal a Cromo VI Grupo de Exposición Similar B.**

En comparación, los dos estratos en observación presentan similitudes con relación a la tendencia media de exposición, por cuanto los valores asociados al

estimador insesgado de varianza mínima presento valores equivalentes. Se encontraron sutiles diferencias con relación al caso más favorable de exposición asociado al límite de confianza inferior con una diferencia de  $0.0001 \text{ mg/m}^3$  entre el GES A y GES B y diferencias significativas entre la condición de mayor riesgo probable, asociando el límite de confianza superior entre el GES A  $0.0053 \text{ mg/m}^3$  versus el GES B  $0.0018 \text{ mg/m}^3$ .

GES	MVUE $\text{mg/m}^3$	LCL $\text{mg/m}^3$	UCL $\text{mg/m}^3$	GSD
GES A	0.0006	0.0003	0.0053	2.85
GES B	0.0006	0.0004	0.0018	2.63

**Tabla 1. Estimadores Estadísticos de Tendencia Central y Límites de Confianza muestras de Cr VI**

Finalmente, fue realizada una prueba intercomparativa mediante Análisis de Varianza (ANOVA) para determinar la representatividad de los valores medios de exposición entre GES, los resultados advierten que no existen cambios significativos con un nivel de significancia del 0.05 basados en la prueba de igualdad de las dos varianzas obtenidas.

## DISCUSIÓN

Basados en los procesamientos estadísticos aplicables a Grupos de Exposición Similar y calculados el Estimador Insesgado de Varianza Mínima (MVUE) como medida de tendencia central, el cual, en confrontación con el valor límite permisible, permite determinar la dosis media de los trabajadores vinculados al GES, y Limite de Confianza Superior (UCL) como estimador de condición de peor caso, el cual ofrece una medida de la máxima condición de riesgo probable a la cual se puede ver sometido cualquier miembro del GES, es posible concluir, que ambos grupos exceden el límite de exposición ocupacional a cromo hexavalente durante actividades de mantenimiento mayor de hornos de producción de cemento portland.

La magnitud media de las exposiciones de trabajadores vinculados a ambos estratos no presentaron mayores diferencias, permitiendo establecer que el uso de dispositivos semiautomáticos a distancia, reducen las magnitudes máximas de trabajadores, considerando que no existieron diferencias significativas entre las desviaciones estándar geométricas intergrupales.

Las fracciones de excedancia respecto a los límites de confianza inferior en los GES, también presentaron diferencias significativas con una proporción cercana al 10% en el caso más favorable de exposición potencial, sin embargo, ambas se encontraron por encima del 50%, permitiendo establecer que, en el caso de menor riesgo potencial, existe una probabilidad superior al 50% de superar el límite de exposición ocupacional ajustado.

## CONCLUSIONES

Según Bodaghpour et al (2012), el cromo en el cemento proviene del horno con ladrillos con magnesio – cromo y las condiciones en el mismo horno, las cuales incluyen

una alta cantidad de óxido de calcio (CaO), cal libre y álcalis favorables para la oxidación del Cr a Cr (VI) y las adiciones de yeso, puzolana y escoria de alto horno granulada con el polvo del horno<sup>2</sup>. En este sentido, el mantenimiento de los hornos permite mantener un producto sin exceder las 2 ppm de Cr (VI), y así evitar los efectos producidos por el Cr (VI) en la salud de la población que utiliza el cemento o las preparaciones a base de cemento.

Las magnitudes encontradas advierten que las actividades de mantenimiento de hornos en plantas de cemento representan un riesgo potencial para los trabajadores a Cromo Hexavalente, sin embargo, es preciso resaltar que se tratan de actividades de trabajo no rutinarias, que no reflejan necesariamente la dosis de largo término de trabajadores vinculados a las actividades de trabajo, salvo que estas se realicen de manera continua por trabajadores especializados en este tipo de tareas.

Se evidencia el impacto en la implementación de controles de ingeniería en las magnitudes máximas estimadas, con lo cual deben reforzarse dichos controles para mitigar el riesgo potencial. Resulta igualmente necesario, enfatizar en las medidas de vigilancia en salud y protección personal respiratoria para reducir la probabilidad de impacto respiratorio y dérmico.

Se requiere profundizar en este tipo de estudios para ofrecer un panorama de otros escenarios de exposición potencial a Cromo Hexavalente en actividades que involucren la producción, comercialización y usos del cemento.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Association Advancing Occupational and Environmental Health - ACGIH. Chromium and inorganic compounds. 2004;3(24):1-30.
2. Bodaghpour S, Joo NB, Ahmadi S. A review on the existence of chrome in cement and environmental remedies to control its effects. 2012;6(2):62-67.
3. European chemicals Bureau. Chromium Trioxide, Sodium Chromate, Sodium Dichromate, Ammonium Dichromate and Potassium Dichromate. *Eur Union Risk Assess Rep*. 2005;53.
4. Agency for toxic substances and disease registry - ATDSR. *Toxicological Profile for Chromium*. Vol 3. Atlanta, Georgia; 2012. doi:10.1016/j.jenvrad.2011.11.007
5. International Agency for Research on Cancer - IARC. Arsenic, Metals, Fibres and Dusts. In: *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, No. 100C*. Vol 1989. ; 2008:147-167.
6. Icontec Internacional. Norma Técnica Colombiana NTC 31 - Cementos. Definiciones. Terminología relacionada con el cemento hidráulico. 2017.
7. Trezza MA, Scian AN. Waste with chrome in the Portland cement clinker production. 2007;147:188-196. doi:10.1016/j.jhazmat.2006.12.082
8. Bae S, Hikaru F, Kanematsu M, et al. Removal of Hexavalent chromium in Portland cement using ground granulated blast-furnace slag powder. *Materials (Basel)*. 2017;11(1):1-18. doi:10.3390/ma11010011
9. Eštoková A, Palaš L, Singovszká E, Holub M. Analysis of the chromium concentrations in cement materials. *Pocedia Engineering*. 2012;42(August):123-130. doi:10.1016/j.proeng.2012.07.402
10. Scientific Committee on toxicity ecotoxicity and the environment (CSTEE). *Opinion on Risks to Health from Chromium VI in Cement*. Bruselas; 2002.
11. Estokova, Adriana; Palascakova, Lenka; Kanuchova M. Study on Cr ( VI ) Leaching from Cement and Cement Composites. *Int J Environ Res Public Health*. 2018;(VI):1-13. doi:10.3390/ijerph15040824
12. Instituto Nacional de Cancerología ESE. *Análisis de Situación Del Cáncer En Colombia 2015.*; 2015. doi:Book\_Doi 10.1201/9781420072884
13. Asociación de productos minerales (MPA) - Cementos. *Chromium (VI) and Cement - Legislation.*; 2007.
14. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). *Determinación de Cromo Hexavalente En Aire (Fracción Inhalable) - Método de Captación En Filtro / Cromatografía Iónica - MTA/MA - 063/A14*. España; 2015.
15. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). *Determinación de Cromo Hexavalente En Aire - Criterios y Recomendaciones CR-10/2016*. España; 2016.
16. Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional - NIOSH. Chromium Hexavalent: Method 7600 - Manual of Analytical Methods (NMAM) 7600. 2015;(3):3-7.