

Determinación de metales pesados en humos metálicos presentes en ambientes informales de trabajo dedicados a la soldadura

Jorge Puello Silva¹, Glicerio León Méndez², Diana Gómez Marrugo³, Heidi Muñoz Monroy, Loraine Blanco Herrera

Grupo de investigación CIPTEC, Facultad de Ingeniería, Fundación Universitaria Tecnológico de Comfenalco, Cra. 44 D No. 30A - 91, Cartagena de Indias, Colombia.

¹ Correo electrónico: puellosj@tecnocomfenalco.edu.co

² Correo electrónico: gleon@tecnocomfenalco.edu.co

³ Correo electrónico: dgomez@tecnocomfenalco.edu.co

Recibido para evaluación: 7 de junio de 2017

Aceptado para publicación: 22 de noviembre de 2017

RESUMEN

La industria metalmecánica, en especial los procesos de soldadura, es una de las de mayor actividad económica a escala mundial. La transformación y unión de piezas metálicas se emplean en muchas actividades laborales, por ejemplo, la construcción. La soldadura genera alto grado de riesgo a la salud de los trabajadores debido a la emisión de humos metálicos, los cuales poseen una variada composición y concentración de metales tanto pesados como no pesados. Otros factores de riesgo son el tiempo de exposición y las condiciones higiénicas de los lugares de trabajo, los cuales pueden influenciar para que estos efectos sean agudos o crónicos. Algunos de estos abarcan desde afecciones locales como dolores, fatigas, fiebre, hasta esterilidad y, en caso grave, aumenta el riesgo de padecer de cáncer. Con el fin de establecer el riesgo de exposición a metales, este estudio exploratorio evaluó las concentraciones de arsénico (As), cromo (Cr), manganeso (Mn) y plomo (Pb) en 15 empresas en ambientes dedicadas a la soldadura. Como resultado se hallaron valores elevados de Pb, en 13 lugares justo por debajo del valor límite umbral (TLV) de 0,05 mg Pb/m³ de aire y dos por encima del mismo. Mientras que para el Mn, los valores hallados se encuentran por debajo de su TLV (0,2 mg/m³), y los niveles de As y Cr se encuentran muy

por debajo de los permitidos. Aun así, la variedad de metales y sus concentraciones en el aire pueden generar posibles afecciones a la salud a mediano y largo plazo. Por lo anterior, se evidencia un inminente riesgo para la salud de los trabajadores dedicados a la soldadura expuestos por los efectos individuales o combinado de los metales inhalados en sus humos.

Palabras clave: metales pesados, soldadura, salud, seguridad ocupacional.

Summary

Determination of heavy metals in metal fumes present in informal work environments dedicated to welding

Metalworking industry, especially welding processes, is one of the most economically active in the world. Transformation and joining of metal parts are used in many labor activities, for example, construction. Welding generates a high degree of risk to workers' health. Due to emission of metallic fumes, which have a varied composition and concentration of both heavy and non-heavy metals. Other risk factors are exposure time and hygienic conditions of workplace, which may influence whether these effects can be acute or chronic. Some affections could be local conditions such as pain, fatigue, fever, to sterility and in serious cases increases the risk of cancer. In order to establish the risk of exposure to metals, this exploratory study evaluated the concentrations of Arsenic (As), Chromium (Cr), Manganese (Mn) and Lead (Pb) in 15 companies in environments dedicated to welding. As a result, elevated Pb values were found at 13 sites just below the threshold limit value (TLV) of 0.05 mg Pb/m³ of air and 2 above it. Mn values found correspond to below their TLV (0.2 mg/m³). Levels of As and Cr are well below those allowed. Even so, the variety of metals and their concentrations in the air can generate possible health conditions in the medium and long term. For all of the above reasons, there is an imminent risk to the health of welding workers because of individual or combined Metals effects inhaled in fumes.

Key words: Heavy metals, welding, health, occupational safety.

INTRODUCCIÓN

La soldadura es el proceso de unión permanente de dos o más materiales juntos, generalmente metales, por calor o presión o ambos. Cuando se calienta, el material alcanza el estado fundido y se puede unir junto con o sin añadir materiales de relleno adicionales. Se pueden utilizar muchas fuentes de energía diferentes para la soldadura incluyendo llamas de gas, arcos eléctricos, resistencia eléctrica, láseres, haces de electrones, fricción, baños de metales fundidos y ultrasonidos. La soldadura es una actividad potencialmente peligrosa y se requieren precauciones para evitar electrocución, incendio y explosión, quemaduras, descargas eléctricas, daño visual, inhalación de gases y vapores venenosos y exposición a la radiación ultravioleta intensa [1].

Establecer los diferentes riesgos asociados a la soldadura es una tarea muy compleja y difícil, debido a que en la actualidad no se poseen datos consolidados por las agencias gubernamentales; pero su impacto en la productividad y la economía es tal que según la Comisión Sueca de la Soldadura, estima que solo en Europa 750.000 trabajadores están dedicados de tiempo completo, mientras que en los Estados Unidos hay alrededor de 380.000 trabajadores [2], excluyendo aquellas economías que tienen una indeterminada cantidad de trabajadores en condiciones de seguridad e higiene inciertas, tales como China, India y muchos países emergentes.

Algunos reportes de enfermedades asociadas incluyen fiebre del soldador [3], siderosis [4], susceptibilidad a la neumonía [5] y, en menores proporciones, asma [6], cáncer pulmonar [7, 8] y también se ha relacionado con el desarrollo del mal de Parkinson [9]; mientras otros estudios confirman la prevalencia de bronquitis crónica en trabajadores, aunque no es una condición general.

Para los procesos de soldadura se usan diversas tecnologías, las cuales tienen en común el empleo de metales para unir las piezas, tales como Cd, Cr, Ni, Mn, Pb, entre otros. Durante dicha unión se forman humos, que varían su composición química y, por tanto, las propiedades fisicoquímicas de estos, de acuerdo con los materiales empleados. En este material emitido, se pueden hallar partículas muy finas y hasta nanopartículas [10] que pueden generar serias afecciones a la salud, de forma individual o conjunta [11]. Teniendo en cuenta lo anterior, este estudio exploratorio plantea las mediciones de metales como Pb, Mn y Fe. Dado que son los metales más empleados en las diferentes aleaciones.

METODOLOGÍA

Selección de la muestra

Se planteó un muestreo por conveniencia donde se seleccionaron 15 empresas, estas tuvieron como característica en común dedicarse a la soldadura en el sector El Bosque, en la ciudad de Cartagena de Indias.

Toma de muestra

Las muestras se tomaron, se trataron, se almacenaron y se transportaron en las condiciones establecidas por la OSHA (Occupational Health and Safety Administration), método ID-125G. Se emplearon filtros de membrana de éster de celulosa (MEC), de 37 mm de diámetro y de 0,8 μm de tamaño de poro, portafiltros de 37 mm de diámetro, de plástico transparente de poliestireno, y una bomba portátil con un caudal exactamente conocido de 2 litros por minuto, en la recolección de las muestras de humos metálicos de soldadura [12].

Análisis de metales

Se trataron las muestras bajo digestión ácida con HNO_3 . Los metales disueltos se leyeron por absorción atómica (AA), según OSHA ID-125G.

Análisis estadístico

Todos los ensayos se realizaron por triplicado. Los resultados se expresaron como la media \pm DE (desviación estándar). Las diferencias significativas se determinaron mediante el análisis con Anova seguido del test de Dunnett, o según el caso. Los valores de $**p < 0,01$ y $*p < 0,05$ contra un control se considerarán significativos. Para la organización de los datos se empleó la hoja de cálculo MS Excel 2010 y para los análisis estadísticos, el paquete GraphPad Prism V6.00 para Windows.

RESULTADOS

En la figura 1 se identifican los niveles de Pb en los sitios laborales dedicados a la soldadura. Se encontró que de las 15 empresas evaluadas, dos sobrepasan los límites permitidos. Cabe resaltar que la ACGIH (Association Advancing Occupational and Environmental Health) considera como valor límite umbral, TLV (*threshold limit value*), para plomo 0,05 mg Pb/ m^3 de aire, para jornadas de 8 horas diarias y 40 horas semanales [9-11].

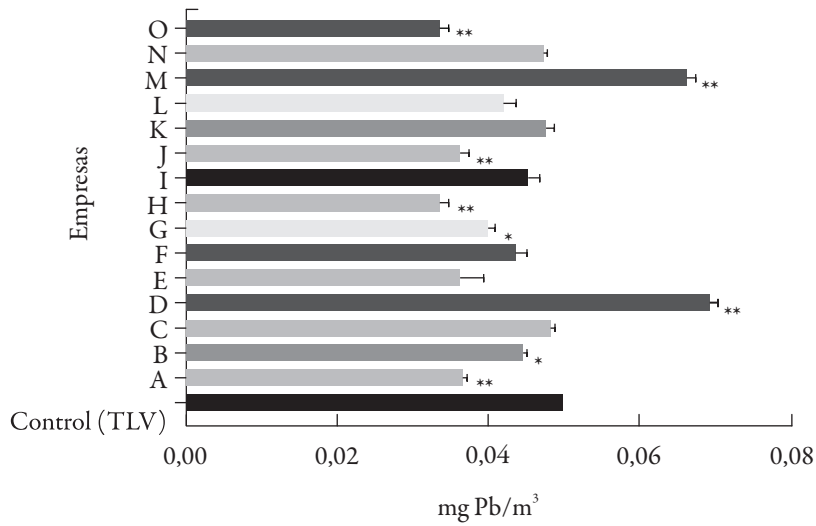


Figura 1. Concentraciones de plomo, en mg/m^3 por empresas informales dedicadas a la soldadura. Diferencias significativas comparadas con el control, $*p > 0,05$ y $**p < 0,01$, One-Anova, test de Dunnett's.

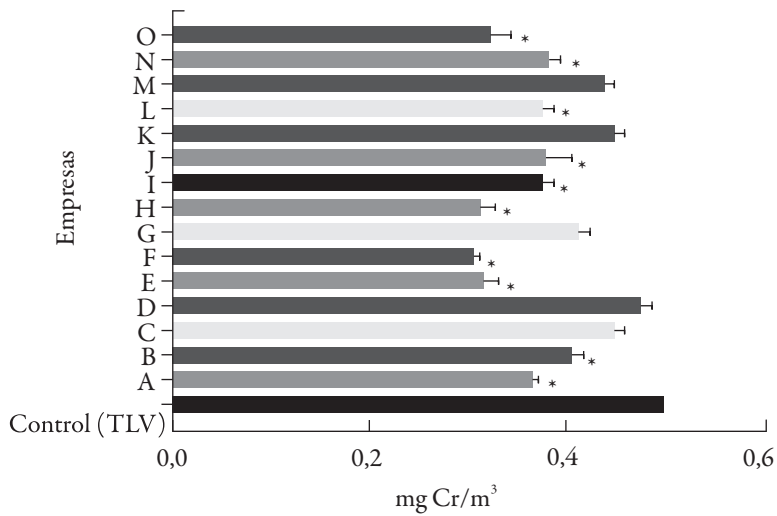


Figura 2. Concentraciones de cromo, en mg/m^3 por empresas informales dedicadas a la soldadura. Diferencias significativas comparadas con el control, $*p > 0,05$ y $**p < 0,01$, One-Anova, test de Dunnett's.

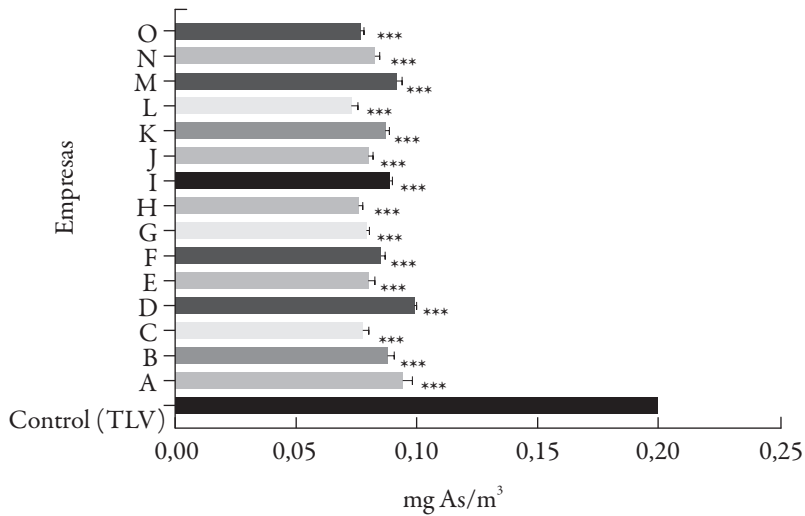


Figura 3. Concentraciones de arsénico, en mg/m^3 por empresas informales dedicadas a la soldadura. Diferencias significativas comparadas con el control, * $p > 0,05$ y ** $p < 0,01$, One-Anova, test de Dunnett's.

Los valores de As en las muestras de aire en todas las empresas se encuentran por debajo de los niveles de exposición de una jornada laboral de 8 horas, cuyo TLV es de $0,20 \text{ mg}/\text{m}^3$.

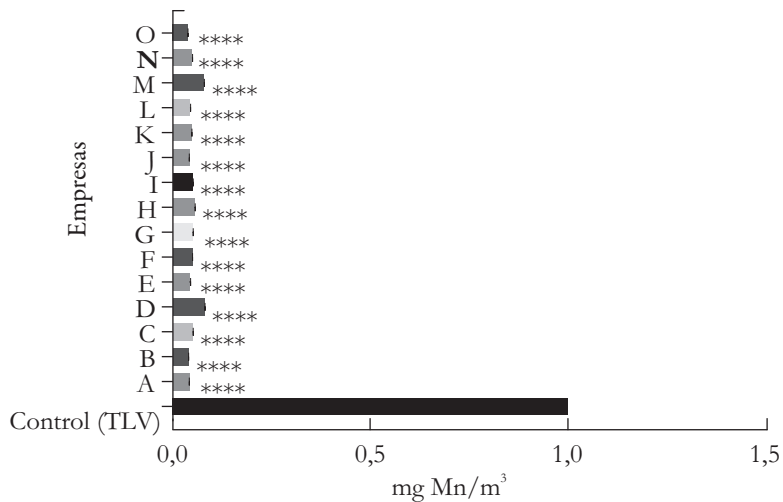


Figura 4. Concentraciones de manganeso, en mg/m^3 por empresas informales dedicadas a la soldadura. Diferencias significativas comparadas con el control, * $p > 0,05$ y ** $p < 0,01$, One-Anova, test de Dunnett's.

Por último, los valores de Mn se encuentran por debajo tanto del valor de TLV como de la concentración de los demás metales estudiados.

DISCUSIÓN

De acuerdo con el análisis realizado a los diferentes metales presentes en el humo metálico, solo el Pb se encuentra en niveles peligrosamente altos (en 13 empresas están por debajo y en dos en niveles superiores al TLV establecido). Este alto valor de concentración puede deberse al plomo que es empleado en la soldadura como material de recubrimiento debido a su bajo punto de fusión y maleabilidad [13].

El mayor riesgo de exposición al Pb es por inhalación. Este metal posee una gran variedad de enfermedades asociadas a su exposición. Se ha establecido que el plomo puede ocasionar daños al sistema nervioso y los riñones, anemia, infertilidad en hombres, hipertensión arterial, cáncer cerebral [14] y temblores [15]. También se ha demostrado que tiene la capacidad de aumentar la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS), causando aumento del estrés oxidativo y conllevando la peroxidación de lípidos [16]. Por otro lado, puede causar disrupción del metabolismo de la célula al tener la capacidad de reemplazar cationes metálicos Ca^{+2} , Mg^{+2} , Fe^{+2} y Na^{+} en sistemas biológicos dado el mecanismo iónico del Pb [17]. Es por ello por lo que se debe establecer un plan que permita mejorar las condiciones laborales con el fin de minimizar el riesgo de exposición.

Por otro lado, el Mn se encuentra en la industria metalmecánica en los aceros dulces y en aleaciones con el fin de mejorar sus propiedades metalúrgicas de estos al neutralizar la presencia de azufre y prevenir la entrada de oxígeno en el metal fundido [18]. Al momento de realizar la soldadura se pierde, aproximadamente, el 15% de Mn del electrodo, pasando a formar parte del humo metálico, en el cual la presencia de compuestos de Mn puede variar desde el 0,2% hasta el 10%, dependiendo de la tecnología y del electrodo usado [19, 20]. De acuerdo con lo anterior, en este estudio los niveles en promedio no superaron el 0,1% de la concentración en el aire respirado. Aunque los valores están por debajo de los límites permisibles, el Mn debe monitorearse, puesto que su inhalación altera la homeostasis de hierro provocando que la medición de Mn realizada en la sangre de los trabajadores sea diferente que en los tejidos diana [21]. La exposición crónica al Mn se ha visto asociada con diferentes condiciones, como la fiebre del soldador, la enfermedad de Parkinson, la astenia, el dolor torácico, el vómito y el daño renal [22].

Cromo total

Las especies químicas de Cr más usuales son el Cr (III) y el Cr (VI), siendo esta última tóxica para los humanos [23]. Se ha establecido que el nivel de exposición de Cr (VI) por inhalación no debe superar los 0,001 mg Cr (VI)/m³ [22] en un máximo de 10 horas. Este estudio solo cuantificó el Cr total y no se discriminó si estaba en estado de oxidación (III) o (VI). Para esto, se debe recurrir a análisis más especializados que hoy se están llevando a cabo. Aun así, los valores de Cr total son altos, aunque no superan el TLV permitido para este en una jornada laboral. Este valor puede deberse a este elemento que es ampliamente utilizado en la metalurgia para mejorar la resistencia a la corrosión y brindar el característico color brillante; sin embargo, su uso indiscriminado genera un aumento significativo en la polución de cromo afectando el ambiente y las especies vivas [24].

No cabe la menor duda de que la soldadura es una de las mayores causas de contaminación del aire dentro de la planta. La industria de la soldadura, las organizaciones de la salud y las autoridades gubernamentales están preocupándose cada vez más por los efectos del vapor y el humo de las soldaduras en el trabajo; por lo cual, la monitorización humana se ha convertido en una herramienta del máximo interés en el campo de la salud ambiental y ocupacional, para la evaluación del grado de exposición a sustancias nocivas en la salud de la población general y trabajadora [25]. En el caso concreto de la exposición a metales pesados, como el Cr, la monitorización cumple un papel fundamental en el establecimiento de límites ocupacionales y ambientales, aportando a la reducción de la exposición, así como evitando efectos perjudiciales sobre la salud [25-27].

Arsénico

El nivel de arsénico (As) determinado se encuentra por debajo del TLV para las 15 empresas estudiadas. En promedio, las medidas no superan los 10 mg/m³ de aire respirado, lo cual no pone en riesgo inmediato la salud de los trabajadores. Este caso es muy similar al Mn, donde los valores están por debajo de los TLV, pero la toxicidad del arsénico es elevada: este se absorbe en el organismo y se almacena principalmente en el hígado, riñón, corazón y pulmón; cantidades más bajas son almacenadas en el músculo y el tejido nervioso; a este metal se le considera como un carcinógeno, sobre todo relacionado con cáncer de pulmón, riñón, vesícula biliar y piel [28, 29]. El arsénico se deposita en las uñas, cabello y piel uniéndose a los grupos sulfhidrilos de la keratina, siendo estos tomados como biomarcadores de intoxicación por arsénico [30, 31]. Por lo anterior, es necesario realizar mediciones de dichos biomarcadores a mediano y largo plazo y establecer el estado de salud de los trabajadores expuestos.

CONCLUSIONES

La cuantificación de los niveles de los metales As, Cr, Mn y Pb permitió establecer y comprobar que los trabajadores de las industrias metalmecánicas se encuentran en peligro por intoxicación provocada por metales pesados a corto, mediano y largo plazo, debido a sus concentraciones en el aire respirable y a la variedad de estos. Particularmente, el Pb representa, en la actualidad, el mayor peligro para la salud de los trabajadores.

Los resultados de este estudio permiten establecer que es necesario complementar la toxicología de los trabajadores mediante la recolección de muestras biológicas con el fin analizar los niveles de los biomarcadores, así como evaluar el impacto en la salud de la población expuesta. Además, se deben complementar los estudios de exposición con metales al medir el tamaño del material particulado, su composición exacta con el estado de oxidación de metales y la posible presencia de nanopartículas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, por facilitar espacio, recursos y tiempo de los investigadores. Además, también se agradece a todas las empresas que nos abrieron el espacio para llevar a cabo los ensayos.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores no declaran conflicto de intereses.

REFERENCIAS

1. Safe Work Australia, "Welding Processes: Code of Practice", Australia, 2016.
2. Bureau of Labor Office, URL: <https://www.bls.gov/ooh/production/welders-cutters-solderers-and-brazers.htm>, consultado el 27 de septiembre de 2017.

3. S. Zakhari, J. Strange, "Effects of welding on health III", American Welding Society, Miami, FL., 1983.
4. M.P. Cosgrove, Pulmonary fibrosis and exposure to steel welding fume, *Occup. Med. (Lond.)*, **65**(9), 706-712 (2016).
5. R. Suri, J. Periselnis, S. Lanone *et al.*, Exposure to welding fumes and lower airway infection with Streptococcus pneumonia, *J. Allergy Clin. Immunol.*, **137**(2), 527-534 (2016).
6. Health and Safe Executive, "Solder fume and you", URL: <http://www.hse.gov.uk/pubns/indg248.htm>, consultado el 30 de junio de 2017.
7. D. Ambroise, P. Wild, J.J. Moulin, Update of a meta-analysis on lung cancer and welding, *Scand. J. Work Environ. Health*, **32**(1), 22-31 (2006).
8. A.R. Sørensen, A.M. Thulstrup, J. Hansen, C.H. Ramlau-Hansen, A. Meersohn, A. Skytthe, J.P. Bonde, Risk of lung cancer according to mild steel and stainless steel welding, *Scand. J. Work Environ. Health*, **33**(5), 379-386 (2007).
9. J.A. Mortimer, A.R. Borenstein, L.M. Nelson, Associations of welding and manganese exposure with Parkinson disease: Review and meta-analysis, *Neurology*, **79**(11), 1174-1180 (2012).
10. X.B. Benavides, E. Mosquera, F. Díaz, Estudio exploratorio II: identificación de nanopartículas en procesos industriales de soldadura y de minería, *Ciencia y Trabajo*, **18**(55), 28-36 (2016).
11. International Agency for Research on Cancer, "Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans", Group 1, 2017.
12. M.L. Medina, C. Mata-Montero, "Determinación de la exposición a metales pesados en la industria metalmeccánica en Costa Rica", Informe final, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica, 2007.
13. American Federation of State, County & Municipal Employees, "Welding hazards", URL: <https://www.afscme.org/news/publications/workplace-health-and-safety/fact-sheets/pdf/Welding-Hazards-AFSCME-fact-sheet.pdf>, consultado el 14 de julio de 2017.
14. W.T. Wu, Y.J. Lin, S.H. Liou, C.Y. Yang, K.F. Cheng, P.J. Tsai, T.N. Wu, Brain cancer associated with environmental lead exposure: Evidence from implemen-

- tation of a National Petrol-Lead Phase-Out Program (PLPOP) in Taiwan between 1979 and 2007, *Environ. Int.*, **40**, 97-101 (2012).
15. National Toxicology Program, "Health effect of low-level lead evaluation", US Department of Health and Human Services, 2012.
 16. N. Wadhwa, B.B. Mathew, S. Jatawa, A. Tiwari, Lipid peroxidation: Mechanism, models and significance, *Int. J. Curr. Sci.*, **3**, 29-38 (2012).
 17. G. Flora, D. Gupta, A. Tiwari, Toxicity of lead: A review with recent updates, *Interdiscip. Toxicol.*, **5**(2), 47-58 (2011).
 18. D.G. Barceloux, Manganese, *J. Toxicol. Clin. Toxicol.*, **37**(2), 293-307 (1999).
 19. American Welding Society, "Welding handbook, materials and applications", 9th edition, vol. 4, part 1, Miami, FL, 2011.
 20. F. Taube, Manganese in occupational arc welding fumes-aspects on physiochemical properties, with focus on solubility, *Ann. Occup. Hyg.*, **57**(1), 6-25 (2013).
 21. W. Zheng, S.X. Fu, U. Dydak, D.M. Cowan, Biomarkers of manganese intoxication, *Neurotoxicology*, **32**(1), 1-8 (2011).
 22. The National Institute for Occupational Safety and Health, "Manganese compounds and fume (as Mn)", NIOSH Pocket guide to chemical hazards, URL: <https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0379.html>, 2016.
 23. R. Gürkan, H.İ. Ulusoy, M. Akçay, Simultaneous determination of dissolved inorganic chromium species in wastewater/natural waters by surfactant sensitized catalytic kinetic spectrophotometry, *Arab. J. Chem.*, **10**(Suppl. 1), S450-S460 (2017).
 24. A. Ghani, Effect of chromium toxicity on growth, chlorophyll and some mineral nutrients of *Brassica juncea* L., *Egyptian Acad. J. Biol. Sci.*, **2**(1), 9-15 (2011).
 25. J.A. Montero-Pérez, M. Hernández-Márquez, J.V. Vidal-Durango, Características ocupacionales de los soldadores en establecimientos de metalmecánica en Sincelajo, Colombia, *Rev. Ing. Innovac. Desarr. Sost.*, **1**(1), 95-107 (2016).
 26. C. Márquez-Estévez, "Bimonitorización de cadmio, cromo, manganeso, níquel y plomo en muestras de sangre total, orina, vello axilar y saliva en una población laboral expuesta a metales pesados", tesis doctoral, Universidad de Granada, España, 2012.

27. L.F. Pérez-Fadul, L. Hernández-Hernández, “Determinación de metales pesados en partículas respirables e identificación de fuentes de emisión, a partir de un muestreo atmosférico en la localidad de Puente Aranda en la ciudad de Bogotá”, tesis de grado, Universidad de La Salle, Bogotá, 2006.
28. P.J. Landrigan, C.B. Schechter, J.M. Lipton, M.C. Fahs, J. Schwartz, Environmental pollutants and disease in American children: Estimates of morbidity, mortality, and costs for lead poisoning, asthma, cancer, and developmental disabilities, *Environ. Health Perspect.*, **110**(7), 721-728 (2002).
29. C.F. Bearer, How are children different from adults? *Environ. Health Perspect.*, **103**(Suppl. 6), 7-12 (1995).
30. S. Burgaz, G.C. Demircigil, M. Yilmazer, N. Erta, Y. Kemaloglu, Y. Burgaz, Assessment of cytogenetic damage in lymphocytes and in exfoliated nasal cells of dental laboratory technicians exposed to chromium, cobalt, and nickel, *Mutat. Res.*, **521**(1-2), 47-56 (2002).
31. E. Halasova, T. Matakova, L. Musak *et al.*, Evaluating chromosomal damage in workers exposed to hexavalent chromium and the modulating role of polymorphisms of DNA repair genes, *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, **85**(5), 473-481 (2012).

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO

J. Puello-Silva, G. León-Méndez, D. Gómez-Marrugo, H. Muñoz-Monroy, L. Blanco-Herrera, Determinación de metales pesados en humos metálicos presentes en ambientes informales de trabajo dedicados a la soldadura, *Rev. Colomb. Cienc. Quím. Farm.*, **47**(1), 14-25 (2018).