

Niveles de mercurio en ambiente y en fluidos biológicos. Caso de la metalurgia en Almadén, España (1986-2001).

Mercury levels on the environment and in biological fluids. Case of the metallurgy in Almadén, Spain (1986-2001).

José Tejero Manzanares¹, Santiago Español Cano², Juan Jesús Serrano García³ & Francisco de Paula Montes Tubío⁴

Resumen

Se presenta el estudio de diagnóstico y seguimiento de los niveles de mercurio en ambiente y en fluidos biológicos de los trabajadores de la metalurgia de Minas de Almadén (España) con el fin de aportar los insumos necesarios para que el Área de Prevención de Riesgos Laborales implantara un método que permitiera establecer unos "niveles críticos" para adoptar acciones preventivas en base a éstos. El estudio se enmarcó dentro de un programa de recolección de datos sobre 15 puestos de trabajo (hasta 70 operarios) como condiciones de vida del trabajador, niveles de exposición al mercurio mediante muestreos ambientales y personales, horarios y turnos de trabajo, reconocimientos médicos, profesiogramas, controles biológicos mensuales en condiciones basales (utilizando el Análisis por Espectrofotometría de Absorción Atómica en Vapor Frío) y valores biológicos máximos permisibles. Se analizaron los niveles de mercurio en la instalación, considerada globalmente, en puestos de trabajo con jornada continua y jornada alterna y, finalmente, en el puesto de trabajo como unidad operativa. Los resultados arrojaron que, a partir de la automatización de la planta en 1997, la mejora de los niveles de mercurio en ambiente de trabajo fue evidente y que la reducción de jornada, considerándola desde la perspectiva del riesgo al mercurio, no estaba justificada. Estableciendo dos periodos (1986-1997 y 1998-2001), los indicadores de mercurio, obtenidos en relación al puesto de trabajo como unidad operativa, experimentaron una notable disminución y evidenció que era necesario prestar especial atención a los puestos de trabajo de operador de hollines y peón de servicios varios.

Palabras Clave: mercurio, intoxicación por mercurio, horas de trabajo, metalurgia, vigilancia de la salud del trabajador.

Abstract

This paper presents the monitoring and follow-up of environmental and biological mercury levels among metallurgy workers of the Almadén Mines in Spain, which provided the foundation for the mine's occupational health department to implement a method that allowed establishment of "critical levels" that would trigger specific preventive interventions. The study was part of an information-gathering project targeting 15 jobs (up to 70 workers), focused on worker living conditions, environmental and personal mercury concentrations, job schedules and shifts, medical surveillance, job profiles, monthly baseline biological controls (using Cold Vapor Atomic Absorption Spectrophotometry) and maximum allowable biological exposure levels. Mercury levels were analyzed at several levels: facility-wide, in workplaces with continuous and alternating shifts, and, lastly, at the job level. Results showed that, since plant processes were automated in 1997, there had been a definite improvement in workplace mercury levels, and that a reduction of shifts, from the standpoint of the risk posed by exposure to mercury, was not justified. Between two periods (1986-1997 and 1998-2001), mercury exposures at the job level decreased significantly, although a closer evaluation of the soot operator and miscellaneous laborer jobs was warranted.

Keywords: mercury, mercury poisoning, work hours, metallurgy, worker health surveillance

¹Universidad de Castilla-La Mancha. jose.tejero@uclm.es

²Servicio Prevención Riesgos Laborales, Área de Salud Laboral de Minas de Almadén y Arrayanes S.A. Asesor Científico en temas de Sanidad Laboral y Ambiental de la Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas". sant_esp@hotmail.com

³Consejería de Educación y Ciencia, Junta de Andalucía. jjserrano@arquired.es

⁴Universidad de Córdoba. ir1motuf@uco.es

Introducción

El mercurio o azogue y su mineral principal, el cinabrio, fueron conocidos por las diferentes culturas desde tiempos remotos, atraídas por sus propiedades y aplicaciones en distintos campos. Los griegos y romanos utilizaron el cinabrio como pintura (bermellón) (Hernández, 2007). Algunos de sus más renombrados médicos, como Hipócrates, lo utilizó en forma de ungüento por no considerarlo tóxico por vía dérmica. Incluso, está documentado que Plinio advirtió a los trabajadores de las minas de cinabrio que debían protegerse la cara con máscaras fabricadas de pieles delgadas para evitar la inhalación del polvo del mineral (Picazo & Fernández, 1995). Es justo en esta época, cuando el mercurio adquiere gran importancia como metal en el mundo civilizado. Se conoce, además de su toxicidad, la propiedad medicinal como desinfectante y cicatrizante de quemaduras.

Las Minas de Almadén, explotadas de manera continua desde hace más de 2.000 años, han sido el mayor productor del mundo de este misterioso metal. Se estima que Almadén ha producido la tercera parte del mercurio consumido por la Humanidad (Hylander & Meili, 2003). Como consecuencia lógica de su dilatada historia y del modo de hacer de cada cultura, en Almadén se ha empleado el mayor y más variado repertorio de artefactos diferentes para conseguir exprimir el azogue a la roca. Con ello, se perseguía un mayor rendimiento de estos artilugios y unas mejores condiciones de trabajo y salubridad de los operarios metalúrgicos, ya que las condiciones de trabajo en épocas pasadas fueron muy duras, con altísimas exposiciones e impregnaciones de los trabajadores que desarrollaban sus labores metalúrgicas. Desde el primer tipo de hornos documentado, conocidos como hornos de xabecas, e introducidos por los árabes, hasta el uso de los hornos de soleras múltiples Pacific-Herreshof Co. de San Francisco, que han supuesto la última tecnología empleada en las instalaciones metalúrgicas de las Minas de Almadén, otros muchos han ocupado el Cerco de Buitrones (centro metalúrgico) almadenense (Tejero, 2011).

La evolución de estas técnicas metalúrgicas aparejó un mayor rendimiento en la producción, persiguiendo la eliminación de las condiciones laborales y de salubridad tan penosas para los operarios de épocas anteriores.

Como se conoce, el mercurio (Hg) es un metal que se evapora a temperatura ambiente, y el único que se

conoce en estado líquido a 0° C. Se obtiene a partir del cinabrio de manera que, desde el punto de vista químico, es bien sencilla: el cinabrio (sulfuro de mercurio) se somete al proceso de tostación y se descompone en presencia de aire, produciéndose así anhídrido sulfuroso y vapor de mercurio, que se enfría convenientemente transformándose en mercurio líquido. Este proceso, aparentemente sencillo, presenta serias dificultades en la práctica porque el carácter volátil del mercurio complica bastante su condensación, siendo estos vapores mercuriales los que representan una amenaza continua para la salud de los trabajadores.

Los hollines (masa pastosa negruzca, fina emulsión de mercurio en agua) eran uno de los productos resultantes del proceso de tostación del cinabrio en los hornos. Mediante el secado de estos hollines, puede recuperarse 50% del mercurio, pero sigue quedando un polvo fino que, por presión, continúa soltando mercurio. En Almadén, eran tratados mediante el procedimiento Almadén-CENIM, consistente en el proceso de ebullición de la masa pastosa con una solución de soda (sosa) cáustica y sulfuro de sodio a 90° C en un reactor provisto de agitación intensa, con el fin de lograr la separación del metal líquido. Por tanto, este puesto de trabajo para el tratamiento de hollines se trata de un punto crítico, que desde siempre, ha requerido de una especial vigilancia por su gran exposición al metal.

Entre otras, las propiedades del mercurio de ser líquido, que se evapora a temperatura ambiente, maleable, conductor de la electricidad, y el poder de amalgamación con otros metales, han permitido su uso en diversas actividades como la industria, la agricultura, la medicina, la odontología y el beneficio del oro y la plata (Tejero, 2011). Estas aplicaciones lo convierten en un factor de riesgo para la población ocupacional (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente - PNUMA, 2002). Hoy en día, también la población general puede estar expuesta al mercurio por diversas fuentes: consumo de pescado contaminado, uso de amalgamas dentales y exposición a desechos industriales contaminados con mercurio (Clarkson, Magos & Myers, 2003).

Las intoxicaciones, por mercurio elemental o inorgánico, suelen deberse a la exposición industrial, en tanto que las provocadas por mercurio orgánico (más tóxico), lo suelen ser por la contaminación de la comunidad (PNUMA, 2002). Por el mercurio, existe riesgo de intoxicación profesional en el trabajo de las minas de cinabrio y en las plantas de transformación. La

intoxicación crónica, insidiosa, es la de mayor interés por su frecuencia en la industria. Con asiduidad, resulta de diagnóstico difícil (Kales & Goldman, 2002), ya que incluso puede tardar de 2 a 3 meses en producir efectos clínicos apreciables. La sintomatología, presentada en intoxicaciones crónicas por mercurio, puede simular otros cuadros clínicos neurológicos, provocados por diferentes causas, que pueden generar cambios a nivel del comportamiento y de las funciones cognitivas del individuo (Anger, 2003), lo cual, nuevamente, dificulta el diagnóstico etiológico, haciendo necesario la utilización de biomarcadores específicos como ayuda diagnóstica.

Existen métodos confiables y precisos para medir los niveles de mercurio en el organismo utilizando muestras como sangre, orina, leche materna y cabello. Al comparar estos resultados con los efectos en la salud, es posible establecer la relación con la exposición mercurial (Organización Mundial de la Salud - OMS, 1991). Por ello, mediante este trabajo, no sólo se pretende evidenciar la importancia de los niveles de mercurio en indicadores ambientales y biológicos, sino también la evolución de éstos asociados a la implantación de un Código de Prácticas Preventivo. De ahí que, de manera especial, el interés por el conocimiento de los niveles de mercurio en ambiente y en fluidos biológicos en los últimos años de actividad de las Minas de Almadén haya sido determinante para facilitar la implantación de programas de prevención y vigilancia de la salud de los trabajadores en esta empresa, en particular, los que desarrollaban sus labores en el departamento metalúrgico. Además, en función de los datos obtenidos, las medidas correctoras y preventivas llevadas a cabo pueden suponer un referente para otras actividades similares a la que es objeto por parte de esta investigación, o bien, para otras industrias en las que exista el riesgo al azogue.

En el terreno profesional, el contacto con el vapor de mercurio metálico se presenta esencialmente por vía pulmonar a través de la inhalación. El 80% de los vapores de mercurio puede ingresar directamente a la corriente sanguínea a través de los pulmones para distribuirse rápidamente por todo el organismo, principalmente, en cerebro y riñones, donde permanece durante semanas o meses (Picazo & Fernández, 1995). Los vapores del mercurio elemental penetran más fácil y rápidamente en el organismo que el mercurio inorgánico, absorbido muy poco por el tracto gastrointestinal (menos 0,01%), eliminándose mayormente por la orina y, en menor cantidad, por las heces (Malm, 1998).

Como ya se ha apuntado, la intoxicación crónica es la forma más frecuente en el medio laboral y constituye el denominado hidrargirismo o mercurialismo. Se relaciona con el tiempo de exposición y con la concentración a los vapores de mercurio, resultando el cuadro clínico insidioso e inespecífico, lo que dificulta el diagnóstico oportuno (Kales & Goldman, 2002). Varias investigaciones han podido diferenciar tres síndromes clínicos principales: estomatitis mercurial, eretismo mercurial y temblor. Este último es el síntoma característico de la intoxicación crónica por mercurio. Suele iniciarse en forma de temblor fino en la lengua, labios, párpados y dedos de las manos (Medrado, 2003). Posteriormente, se extiende a las manos en forma de temblor rítmico que se interrumpe por contracciones musculares bruscas. También, puede darse en la cara produciendo tics, apareciendo por ondas. Aumenta con la excitación y tiende a ser intencional, lo que le diferencia del temblor de Parkinson que desaparece con el sueño. Hay descritos casos de alopecia en situaciones de exposiciones crónicas y son siempre reversibles con el cese de la exposición.

Antes del comienzo de esta investigación, se vino observando el cuadro del micro-mercurialismo cada vez con mayor frecuencia en trabajadores de las Minas de Almadén expuestos a niveles bajos de vapores de mercurio. La sintomatología que se observaba era: fasciculaciones con predominio en miembros superiores, sensación de pesadez en miembros inferiores, manifestaciones vegetativas, transpiración abundante, dermatografismo, inestabilidad emocional, neurosis secretoria estomacal, neurosis funcional (histérica, neuroasténica) (Español & Martínez, 1996). Para su detección, existe un criterio casi unánime que consiste en utilizar los niveles de mercurio en sangre y orina. La información que existe, en cuanto a contenidos de mercurio en fluidos biológicos, es muy amplia y dispar, estableciéndose criterios muy diferentes según las fuentes que se consulten.

Este estudio es un ejemplo de esa búsqueda de datos, como son los niveles de mercurio en ambiente, sangre y orina, que permitiera establecer unos "niveles críticos" para adoptar acciones preventivas en base a éstos con el fin de abordar el problema del mercurialismo o hidrargirismo que ha golpeado la salud de los trabajadores de la minería y metalurgia del mercurio de manera especial durante tanto tiempo.

Metodología

Se llevó a cabo esta investigación con el objeto de realizar el estudio diagnóstico y seguimiento de los niveles de mercurio en ambiente y en fluidos biológicos de los trabajadores del departamento de metalurgia de Minas de Almadén (España), para obtener los datos necesarios que permitieran implantar al Área de Prevención de Riesgos Laborales un método que estableciera unos “niveles críticos” para adoptar acciones preventivas en base a éstos. En la Tabla N° 1, para adultos sensibles, se muestra las relaciones entre los primeros efectos y el contenido de mercurio en sangre (Hg-S), orina (Hg-O) y aire (Hg-A) en exposiciones a largo plazo (OMS, 1991 & Casarett & Doull, 2001).

Sin embargo, no es menos cierto que, un número creciente de investigaciones se ha orientado hacia la identificación de síntomas neurocomportamentales en los últimos veinte años (Slikker, Beck & Slechta, 2000) debido a que se presentan a niveles por debajo de los límites establecidos para la salud como seguros. Surge así la necesidad de realizar estudios en poblaciones expuestas a compuestos de mercurio crónicamente, y poder comparar los hallazgos con los niveles de mercurio en las muestras biológicas (Ellingsen, Bast-Pettersen & Efskind, 2001 & Meyer-Baron, Schaeper & Seeber, 2002).

Es indudable que la salud es el producto, no solo de las condiciones históricas y de la forma como el trabajador se involucra en el trabajo, sino también de la forma de alimentarse, de recrearse, de educarse y, en general, con la manera de vivir de los pueblos (Betancourt, 1994); sin embargo, no se puede obviar que es en el trabajo donde pueden llegar a potenciarse condicionantes del estado de salud (Sánchez, Simoes & Brito, 2008). A continuación, se detalla el proceso

de recolección de datos en la última etapa de la metalurgia de las históricas Minas de Almadén. Éstos sirvieron de fundamental apoyo para la implantación y seguimiento de un plan de prevención global, integrado y participativo (Cabanillas, 1998) para el riesgo al mercurio en las actividades minero-metalúrgicas e industriales (un total de 552 trabajadores de media en toda la plantilla) en el periodo 1986-2001. Este periodo, objeto de esta investigación, se corresponde con el inicio y final (poco antes del fin de la actividad) de la implantación del Código de Prácticas Preventivo que se desarrolló en el Plan de Prevención de Riesgos Laborales del Área de Metalurgia.

Procedimiento para la recolección de datos

1. Estudio de las condiciones de vida del trabajador.
2. Estudio de puestos de trabajo y cumplimentación del histograma.
3. Determinación del nivel de exposición al mercurio (muestras ambientales y personales).
4. Diseño de horarios y turnos de trabajo.
5. Reconocimiento médico previo al inicio del trabajo. Definición clara de patologías limitantes y excluyentes.
6. Planificación anual de reconocimientos médicos en función de los riesgos detectados en los diferentes puestos de trabajo.
7. Cumplimentación del profesigramas de cada trabajador.
8. Control biológico mensual (determinación de niveles de mercurio total en sangre y orina). Las tomas de muestras biológicas se realizan en condiciones

Tabla N° 1. Relación entre los niveles de mercurio (sangre, orina y ambiente) y síntomas

Síntomas no específicos: niveles de mercurio	Manifestación de temblor: niveles de mercurio
35 µg/l en sangre	70-140 µg/l en sangre
150 µg/l en orina	300-600 µg/l en orina
0,05 mg/m ³ en aire	0,1-0,2 mg/m ³ en aire

Síntomas no específicos: cefaleas, abstinencia, anorexia, mialgias
Fuente: OMS, 1991

basales a primera hora de la mañana (08.00 horas). La determinación de contenidos de mercurio se realiza aplicando la técnica Análisis por Espectrofotometría de Absorción Atómica en Vapor Frío.

9. Determinación de los valores máximos permisibles: para su determinación se han correlacionado niveles biológicos de mercurio en sangre y orina con el estado de salud de todos los trabajadores expuestos a mercurio en Minas de Almadén y Arrayanes S.A. (minería subterránea y a cielo abierto, planta de metalurgia, almacén de mercurio, fábricas de derivados inorgánicos del mercurio y laboratorio). Aceptando que, el nivel de efecto mínimo es la dosis (expresada como nivel de exposición, absorción diaria o concentración en medios indicadores) asociada con el primer efecto detectable en la población analizada, tras estudios realizados previamente en diversos medios indicadores (aire, agua, sedimentos, alimentos, pelo, sangre, orina, sudor, heces, saliva, aire exhalado, uñas) y su correlación con la sintomatología clínica, se decidió utilizar tres Indicadores de Salud Laboral: niveles de mercurio en aire respirable (exposición), sangre (impregnación) y orina (excreción).

10. Con el fin de evitar manifestaciones del temblor en los operarios en Minas de Almadén y Arrayanes S.A., los valores biológicos máximos permisibles adoptados fueron de 70 µg/l de mercurio en sangre y 300 µg/l en orina (Tabla N° 1).

11. Los criterios de actuación basados en los contenidos de mercurio en fluidos biológicos se indican en la Tabla N° 2. Sin lugar a dudas, el diagnóstico de estas alteraciones en estadios tempranos es de gran

importancia para la salud de las personas, evitando la aparición de efectos negativos, sobre todo a nivel de conducta y personalidad, en los individuos expuestos. El diagnóstico oportuno evitaría la progresión del cuadro que pueda dejar secuelas incapacitantes en las personas (OMS - OPS, 2002).

12. Documentación e investigación: amplia base de datos con registros relacionados con el mercurio (Sanidad Laboral y Sanidad Ambiental) y desarrollo de estudios en el campo de la Epidemiología Laboral.

El estudio desarrollado en el periodo considerado (1986-2001) se efectuó en tres niveles:

a) considerando la instalación de Metalurgia Primaria globalmente

b) desglosando la actividad en dos grupos: puestos de trabajo con jornada de trabajo diaria y alterna

c) desglosando la actividad en unidades operativas (puestos de trabajo).

Previamente a hacer ningún comentario, es necesario reseñar que en la campaña de 1996 se inició la automatización de la planta metalúrgica, proceso que finalizó en la campaña de 1997. Este hecho supuso una reducción de 15 a 8 puestos de trabajo. En la Tabla N° 3 se reflejan los distintos puestos de trabajo y el tipo de jornada. También se tradujo en una disminución cuantitativa de efectivos que pasó a ser de una media de 70 obreros entre 1986-1996, a 40 a partir de 1997, lo que se ha tenido en cuenta para el cálculo de los valores promedio de mercurio que se obtuvieron. Este dato es necesario tenerlo presente en los tres niveles de estudio

Tabla N° 2. Relación niveles de mercurio en fluidos biológicos y criterios de actuación

Niveles de mercurio en fluidos biológicos	Criterios de actuación
Hg-S < 30 µg/l	No hay sintomatología clínica: actuaciones en higiene y ergonomía
Hg-O < 130 µg/l	No hay sintomatología clínica: actuaciones en higiene y ergonomía
30 µg/l < Hg-S < 70 µg/l	Revisión de acciones preventivas
130 µg/l < Hg-O < 300 µg/l	Revisión de acciones preventivas
Hg-S > 70 µg/l	Cambio de Puesto Trabajo
Hg-O > 330 µg/l	Cambio de Puesto Trabajo

Hg-S (mercurio en sangre), Hg-O (mercurio en orina)

Fuente: Español & Martínez, 1996

expuestos en el apartado de metodología, ya que supuso un punto de inflexión muy importante en las condiciones de trabajo. Es importante señalar que los trabajadores que formaron parte del estudio fueron los mismos. En los resultados que se relacionan, otras cuestiones que se han tenido en cuenta han sido los años correspondientes a paradas en la planta, que no aparecen, así como la duración de cada campaña, puesto que quedaban en función de la demanda de mercurio y del stock existente en cada momento.

Con el fin de conocer el riesgo de intoxicación por el mercurio en cada uno de los puestos de trabajo, objetos de esta investigación, se cree conveniente señalar cuáles eran las tareas específicas de cada uno de ellos. El “vigilante” o “jefe de turno” era el responsable de la coordinación de todo el personal, velando por el buen funcionamiento de toda la planta. Mientras el “mecánico de planta” (calcinador) era el encargado de la carga y marcha del horno (el “peón de hornos” era su ayudante), el “mecánico de mantenimiento” se encargaba de las reparaciones y buen estado de los distintos aparatos. El “engrasador” lubricaba las máquinas que necesitaban de esta operación para su buen rendimiento. El “maquinista de elevación” (el “peón maquinista” era su ayudante) se encargaba de la alimentación de las tolvas de carga de mineral para su posterior envío al horno a través de la cinta transportadora. El “peón de cinta” se ocupaba de los posibles atascos en esta cinta con el fin de no entorpecer su buena marcha. Se denominaba “palista”

al conductor de la máquina utilizada para la carga de las tolvas de mineral.

Otro operario, como el “quebrantador”, se encargaba de la marcha de la máquina quebrantadora, que trituraba el mineral al tamaño deseado antes de pasar a la cinta que lo conducía hasta los hornos. De la descarga de las tolvas de escoria y su limpieza posterior, se ocupaba el “peón de escorias”, siendo el “peón de hollines” el encargado del tratamiento de hollines, mientras que el responsable de controlar todo el proceso era el “operador de hollines”. El “operador de planta de aguas” analizaba las aguas utilizadas en la instalación y el “peón de servicios varios” baldeaba todas las instalaciones.

A partir de 1997, la jornada por puesto de trabajo (A-alterna/D-diaria) queda de la siguiente manera: jefe de turno o vigilante (D), calcinador (A), mecánico mantenimiento (A), peón de escorias (A), operador planta de aguas (D), operador de hollines (A), engrasador (D) y peón de servicios varios (D).

Resultados de la discusión

Los datos para el estudio de la evolución de los índices de mercurio de los trabajadores de la Planta de Metalurgia Primaria en el periodo 1986-2001, desde el punto de vista de prevención para el riesgo al mercurio, se han obtenido en función de los tres niveles definidos anteriormente. Dado que Almadén representa el último

Tabla N° 3. Puestos de trabajo existentes en el departamento de metalurgia. Tipos de jornada (A-alterna/D-diaria). Periodo 1986-2001

Puestos de trabajo														
VIGILANTE O JEFE DE TURNO	MECÁNICO PLANTA (CALCINADOR)	MECÁNICO PLANTA (CALCINADOR)	OPERADOR DE HOLLINES	OPERADOR DE PLANTA DE AGUAS	PEÓN DE HOLLINES	PEÓN DE ELEVACIÓN	QUEBRANTADOR	PEÓN DE CINTA	PEÓN DE ESCORIA	PEÓN DE SERVICIOS VARIOS	MECÁNICO DE MANTENIMIENTO	PALISTA	PEÓN DE HORNOS	ENGRASADOR
Tipo de jornada														
A	A	A	D	D	A	A	D	D	A	D	D	D	A	A

Los puestos de trabajo sombreados en la tabla son los que se mantienen hasta final de la metalurgia
Tipo de jornada: A (Alterna), D (Diaria)

Fuente: Datos de la investigación. Área de Salud Laboral

de los casos de la metalurgia del mercurio a escala industrial, excepto el caso de las minas de KhaidarKan (Kirguistán), donde se pretenden realizar estudios similares, no existe la posibilidad de realizar un análisis comparativo con investigaciones similares. Los estudios actuales se refieren a la manipulación de mercurio en actividades informales, principalmente, el beneficio del oro que utiliza mercurio en forma indiscriminada, y la quema de amalgama artesanal. Un ejemplo, sería el caso de la ciudad de Segovia en Colombia (Unidad de Planeación MineroEnergético - UPME, 2006).

A) Instalación considerada globalmente

1. Los niveles de mercurio en ambiente de trabajo presentan tres etapas visiblemente diferenciadas que pueden observarse en Gráfico N° 1. El periodo 1986-1993 resulta positivo con una clara y progresiva reducción de la exposición de los trabajadores en la planta. Periodo 1994-1997, con características totalmente opuestas al anterior. Y, finalmente, a partir de 1997, la mejora de las condiciones de trabajo, en cuanto a nivel de exposición, es evidente.

2. Los valores promedio de mercurio en fluidos biológicos (sangre y orina) se recogen en los Gráficos N° 2 y N° 3. Los cambios de puesto de trabajo, generados cuando se alcanzan los niveles

críticos, presentan un comportamiento paralelo a los contenidos de mercurio en ambiente de trabajo. Se aprecia claramente la ruptura en la campaña de 1997 con una tendencia al alza hasta 1999. Este repunte estuvo condicionado, entre otros factores, por la necesidad de completar la plantilla de Metalurgia con trabajadores eventuales y sin experiencia.

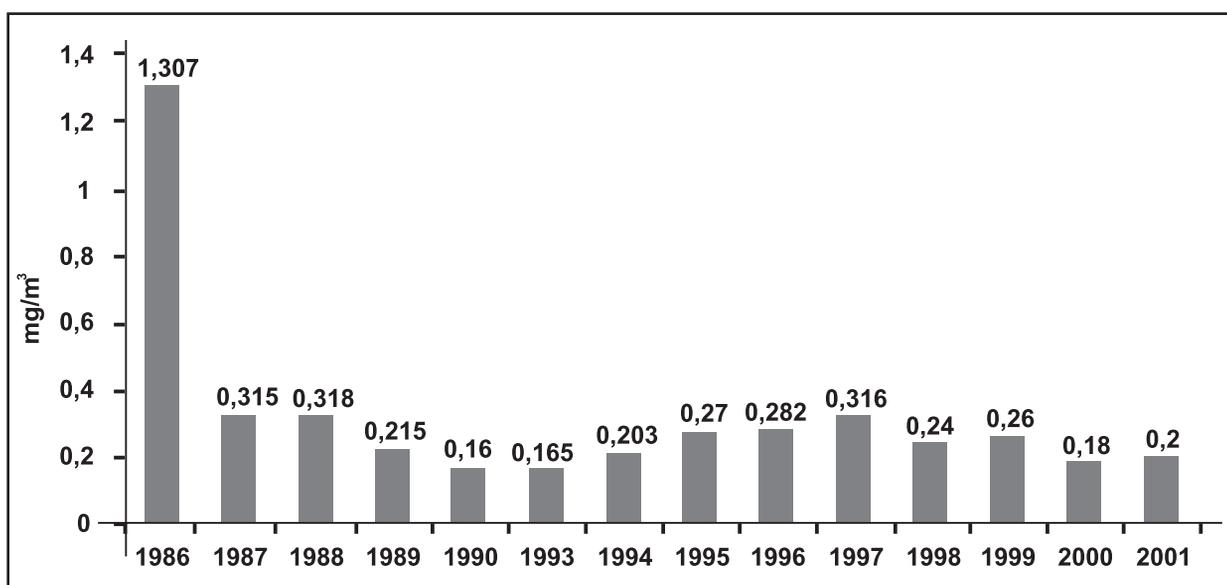
3. Es evidente que es imposible cumplir la recomendación de trabajo de la CONFERENCIA AMERICANA DE HIGIENISTAS INDUSTRIALES GUBERNAMENTALES (de USA) (ACGIH, 2002) de un contenido de $0,025 \text{ mg/m}^3$ en ambiente.

No obstante, con la implantación de acciones preventivas en base a estos resultados, es factible mantener a este grupo de población, expuesta ocupacionalmente, en niveles medios de impregnación por debajo de 60 ppb en sangre y 200 ppb en orina (Gráficos N° 2 y N° 3), asociándose estos niveles a la no aparición de casos de hidrargirismo o mercurialismo.

B) Puestos de trabajo con jornada alterna y diaria

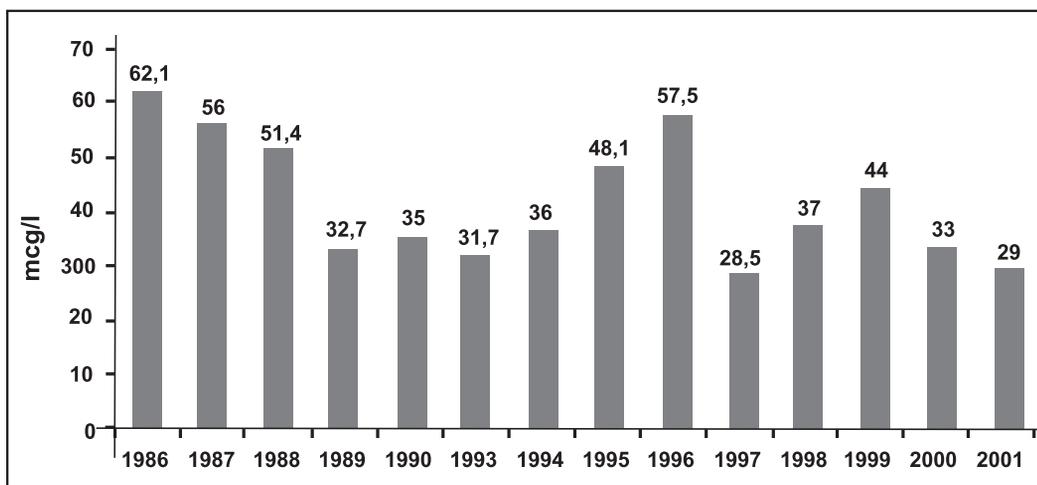
1. Los estudios revelan que la reducción de jornada, considerándola únicamente desde la perspectiva del riesgo mercurio, no está justificada (Gráficos N° 4 y N° 5).

Gráfico N° 1. Metalurgia primaria. Valores promedio de mercurio en ambiente de trabajo (mg/m^3). Área Global. Periodo 1986-2001



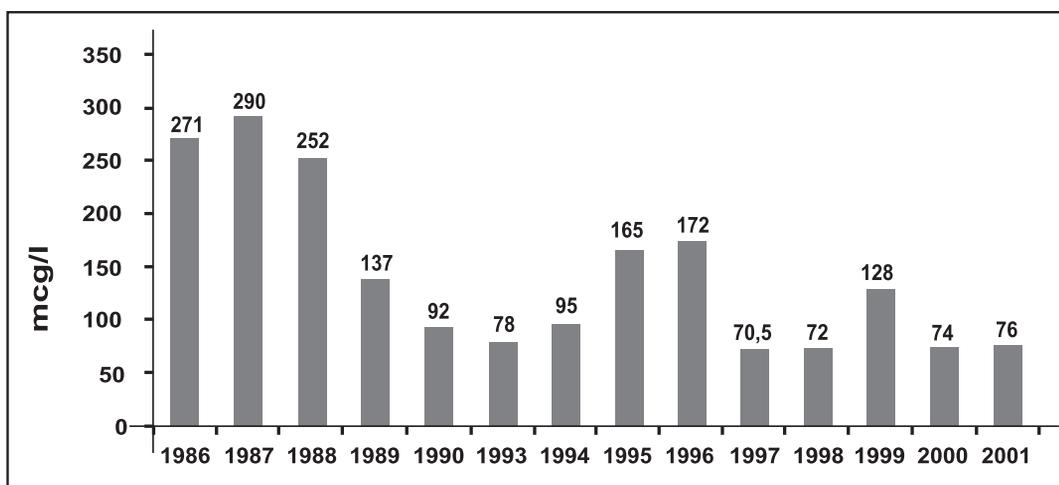
Fuente: Datos de la investigación. Área de Salud Laboral

Gráfico N° 2. Metalurgia primaria. Valores promedio de mercurio en sangre (mcg/l). Área Global. Periodo 1986-2001



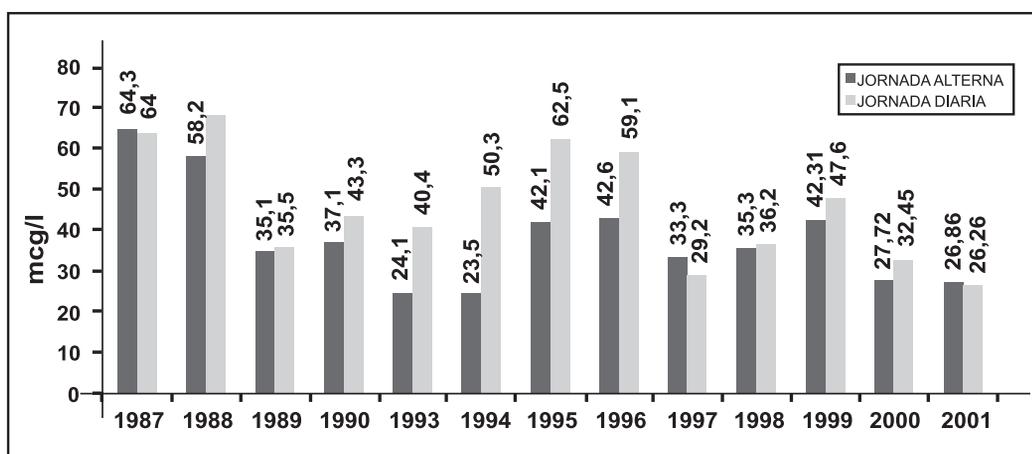
Fuente: Datos de la investigación. Área de Salud Laboral

Gráfico N° 3. Metalurgia primaria. Valores promedio de mercurio (mcg/l) en orina. Área Global. Periodo 1986-2001



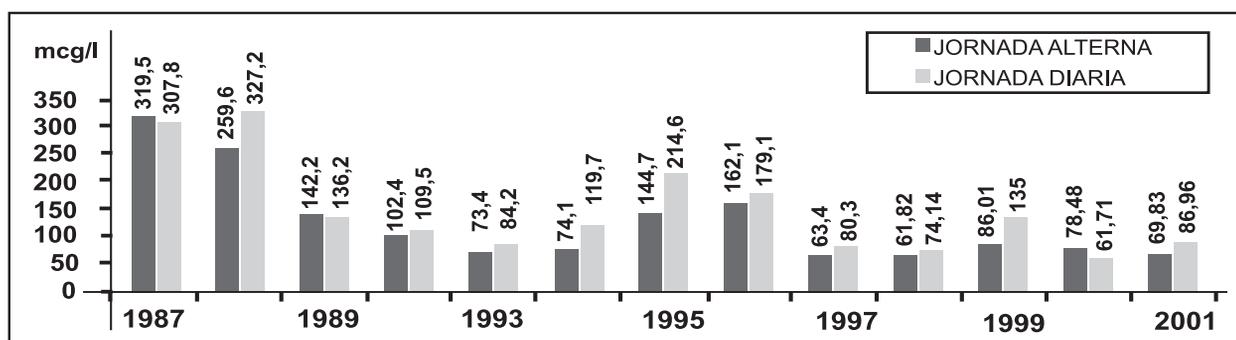
Fuente: Datos de la investigación. Área de Salud Laboral

Gráfico N° 4. Metalurgia primaria. Valores promedio de mercurio en sangre (mcg/l) de los trabajadores estudiados por tipo de jornada. Periodo 1986-2001



Fuente: Datos de la investigación. Área de Salud Laboral.

Gráfico N° 5. Metalurgia primaria. Valores promedio de mercurio (mcg/l) en orina de los trabajadores estudiados por tipo de jornada. Periodo 1987-2001



Fuente: Datos de la investigación. Área de Salud Laboral

C) El puesto de trabajo como unidad operativa

1. La adopción de considerar el puesto de trabajo como unidad operativa, permite estudiar las condiciones de cada uno de ellos en profundidad y realizar estudios comparativos.

2. Estableciendo dos periodos 1986-1997 y 1998-2001, hay que hacer varias observaciones considerando los indicadores de niveles de mercurio en ambiente, sangre y orina en relación a la unidad operativa-puesto de trabajo (Tabla N° 4):

Tabla N° 4. Metalurgia primaria. Valores promedio de mercurio en ambiente, sangre y orina por puestos de trabajo. Periodo 1986-2001

Puesto de Trabajo	1986-1997			1998-2001		
	Hg-A (mg/m ³)	Hg-S (mcg/l)	Hg-O (mcg/l)	Hg-A (mg/m ³)	Hg-S (mcg/l)	Hg-O (mcg/l)
VIGILANTE	0,265	39,0	165,1	0,083	39,2	74,5
MECÁNICO PLANTA (CALCINADOR)	0,442	38,9	142,1	0,210	31,7	78,0
MAQUINISTA DE ELEVACIÓN	0,280	40,7	179,9			
OPERADOR DE HOLLINES	0,295	51,9	210,7	0,350	36,5	128,2
OPERADOR DE PLANTA DE AGUAS	0,238	55,2	120,1	0,180	26,7	90,5
PEÓN DE HOLLINES	0,276	52,7	212,7			
PEÓN DE ELEVACION	0,359	41,6	176,1			
QUEBRANTADOR	0,274	47,9	174,8			
PEÓN DE CINTA	0,419	63,2	210,1			
PEÓN DE ESCORIA	0,047	22,9	67,1	0,112	37,0	89,2
PEÓN DE SERVICIOS VARIOS	0,188	52,6	160,6	0,180	42,0	102,0
MECÁNICO DE MANTENIMIENTO	0,192	31,5	71,6	0,097	31,7	81,5
PALISTA	0,277	42,1	177,2			
PEÓN DE HORNOS	0,069	43,5	124,1			
ENGRASADOR	0,095	39,0	147,9	0,120	31,0	91,2

Los puestos de trabajo sombreados en la tabla son los que se mantienen hasta final de la metalurgia Hg-A (mercurio en Ambiente), Hg-S (mercurio en Sangre), Hg-O (mercurio en Orina)

Fuente: Datos de la investigación. Área de Salud Laboral.

- Considerando los indicadores de mercurio en ambiente de trabajo, sangre y orina, el valor de referencia definido experimenta un descenso importante del primer al segundo periodo en relación a la unidad operativa-puesto de trabajo (Tabla N° 5). La tendencia positiva, reseñada para estos indicadores en el nivel Área Global, se repite en este apartado.

- De cara a posibles nuevas campañas y, a la vista de los resultados, es preciso prestar especial atención a los puestos de trabajo de operador de hollines y peón de servicios varios.

Conclusiones

El riesgo mayor para la salud humana, derivado de la presencia del mercurio elemental y los compuestos inorgánicos en la actividad objeto de la investigación, se centra en la exposición ocupacional a este metal. Se ha venido observando que es rara la aparición de intoxicaciones agudas y sub-agudas por mercurio en el medio de trabajo estudiado, siendo más frecuente la intoxicación crónica (hidrargirismo o mercurialismo). La manera insidiosa en que debuta la enfermedad, la vaguedad de su sintomatología clínica en periodos iniciales y el establecimiento de lesiones irreversibles que hacen poco eficaces los tratamientos ensayados hasta la fecha, evidencia la necesidad de establecer un método de control, apoyado en los resultados obtenidos, que permita detectar situaciones de riesgo y alteraciones de la salud reversibles derivadas de la exposición al mercurio antes de que la clínica se manifieste. Y, por tanto, así eliminar su incidencia patológica en la salud de los trabajadores expuestos.

Los procedimientos correctivos o curativos son totalmente ineficaces frente al riesgo al mercurio y la enfermedad que conlleva (hidrargirismo o mercurialismo), puesto que una vez establecidas las lesiones, éstas tienen un carácter prácticamente irreversible. En la prevención

del hidrargirismo no solo hay que actuar en el binomio trabajador-puesto de trabajo, sino que es preciso aplicar una metodología preventiva global e integrada. Se adoptaron como indicadores biológicos los niveles de mercurio en sangre (impregnación) y orina (excreción), correlacionando ambos mediante un factor de excreción asociados a la sintomatología precoz que tiene carácter reversible. Por supuesto, son de gran utilidad: ensayos psicológicos y de comportamiento, estudios de temblor y función neuromuscular.

Por otro lado, teniendo en cuenta la Tabla N° 1, sin olvidarse de la susceptibilidad individual y, por tanto, de que existen personas vulnerables a niveles, incluso por debajo de lo permisible, con la implantación y seguimiento de un plan de prevención global, integrado y participativo, era factible mantener al grupo de trabajadores objeto de estudio con niveles de mercurio inferiores a 60 µg/l en sangre y 200 µg/l en orina, asociándose estos niveles a la no aparición de casos de hidrargirismo o mercurialismo. En el caso de que la dirección de la empresa hubiera decidido unificar la jornada como diaria para todos los puestos de trabajo, según los resultados del estudio, los mencionados niveles no se hubieran visto afectados de manera significativa.

Finalmente, algunos casos detectados de micro-mercurialismo fueron totalmente reversibles aplicando las medidas preventivas oportunas. De manera particular, hubo que prestar especial atención a los puestos de trabajo de operador de hollines y peón de servicios varios. Por tanto, se puede afirmar que en Minas de Almadén y Arrayanes S.A. se erradicó esta terrible enfermedad, y considerarla como el paradigma de la exposición de trabajadores al mercurio elemental, ya que actividades relacionadas con la extracción de cinabrio y destilación de mercurio se han desarrollado en Almadén sin interrupción desde la época de los romanos hasta nuestros días.

Tabla N° 5. Metalurgia primaria. Evolución del valor de referencia definido para los indicadores de mercurio en ambiente, sangre y orina por puestos de trabajo. Periodo 1986-2001

Periodo	Hg-A (mg/m ³)	Hg-S (µg/l)	Hg-O (µg/l)
1er Periodo (1986-1997)	0,3	60	200
2do Periodo (1998-2001)	0,2	50	150

Fuente: Datos de la investigación. Área de Salud Laboral

Referencias Bibliográficas

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists-ACGIH. (2002). Threshold Limit Values (TLVs) for chemical substances and physical agents & Biological exposure indices (BEIs) the American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Cincinnati, Ohio: ACGIH.
- Anger, K. (2003). Neurobehavioral tests and systems to assess neurotoxic exposures in the workplace and community. *Occupational and Environmental Medicine*, 60 (7), 531-538.
- Betancourt, O. (1994). Reflexiones para la investigación de la Salud de los Trabajadores. *Salud de los trabajadores*, (1), 35-48.
- Cabanillas, J. (1998). Evaluación epidemiológica de un programa preventivo en Salud laboral. *Mapfre Medicina*, (9), 257-264.
- Casarett, L & Doull, J. (2001). *Manual de Toxicología*. Quinta Edición. México: Mc Graw Hill.
- Clarkson, T. Magos, L. & Myers, G. (2003). Toxicology of mercury-current exposures and clinical manifestations. *The New England of Medicine*, 18(349), 1731-1737.
- Ellingsen, D., Bast-Pettersen R. & Efskind, J. (2001). Neuropsychological effects of low mercury vapor exposure in chloralkali workers. *Neurotoxicology*, 22(2), 249-58.
- Español, S. & Martínez, J. (1996). *Seguimiento médico de trabajadores expuestos a mercurio elemental en actividades minero-metalúrgicas*. International Conference: mercury as a Global Pollutant. Hamburgo, Alemania.
- Hernández, A. (2007). *Los mineros del azogue*. Almadén: Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas".
- Hylander, L. & Meili, M. (2003). 500 years of mercury production: global annual inventory by region until 2000 and associated emissions. *The Science of the Total Environment*, 304(1-3), 13-27.
- Kales, S. & Goldman, R. (2002). Mercury Exposure: current concepts, controversies, and a clinic's experience. *Journal and Occupational Environmental Medicine*, 44(2), 143-154.
- Malm, O. (1998). Gold mining as a source of mercury exposure in the Brazilian Amazon. *Environmental Research*, 77(2), 73-78.
- Medrado, F. (2003). Mercurialismo metálico crónico ocupacional. Sao Paulo. *Saúde Pública*, 37(1), 10-20.
- Meyer-Baron, M., Schaeper, M. & Seeber, A. (2002). A meta-analysis for neurobehavioral results due to occupational mercury exposure. *Archives of Toxicology*, 76(3), 127-136.
- Organización Mundial de la Salud-OMS. (1991). *Environmental Health Criteria 118*. Mercury. Ginebra: OMS. Recuperado el 3 de noviembre de 2010, de la siguiente dirección electrónica: http://whqlibdoc.who.int/ipcs/IPCS_EHC_118.pdf.
- Organización Mundial de la Salud-Organización Panamericana de la Salud OMS / OPS. (2002). Manual de Pruebas Neuroconductuales. San José, Costa Rica: OPS.
- Picazo, E. & Fernández, J. (1995). Los mercuriales. Historia, toxicología, Toxicocinética y Fisiopatología. *Actualidad dermatológica*, 683-695.
- Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente PNUMA. (2002). *Evaluación mundial sobre el mercurio*. Suiza: PNUMA. Versión en español publicada en Junio 2005.
- Sánchez, L., Dilma, M. & Brito, J. (2008) Trabajo y salud mental. Caso supervisores de una localización petrolera. *Salud de los trabajadores*, 16(1), 29-41.
- Slikker, W., Beck, B., & Slechta, D. (2000). Cognitive Tests: interpretation for neurotoxicity. *Toxicological Science*, 58, 222-234.
- Tejero, J. (2011). *Evolución histórico-tecnológica de los hornos en la metalurgia del mercurio en las Minas de Almadén: implantación de los hornos Cermak-Spirek y Spirek*. Tesis Doctoral no publicada. Universidad de Córdoba. España.
- Unidad de Planeación Minero-Energética-UPME. (2006). *Alteraciones neurocompartamentales en personas expuestas al mercurio en la minería del oro en el municipio de Segovia (Antioquia)*. Bogotá: Universidad de Colombia.

Fecha de recepción: 24 de febrero de 2011
 Fecha de aceptación: 28 de septiembre de 2011