



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

# **Alteraciones Neurológicas por Exposición a Plomo en Trabajadores de Procesos de Fundición, Soacha, 2009**

**Alejandra del Pilar Díaz Gómez**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Medicina, Departamento de Toxicología  
Bogotá, Colombia

2011

# **Alteraciones Neurológicas por Exposición a Plomo en Trabajadores de Procesos de Fundición, Soacha, 2009**

**Alejandra del Pilar Díaz Gómez**

**Tesis de grado presentada como requisito parcial para optar al título de:  
Magister en Toxicología**

Directora:

Dra. Alba Isabel Rodríguez Pulido

Msc. Toxicología, Profesor Asociado Departamento de Toxicología. Facultad de Medicina

Codirector:

Dr. Edgar Prieto Suarez

M.D. Ingeniero Electrónico. Profesor Departamento de Salud Pública. Facultad de Medicina

Línea de Investigación:

Toxicología Ambiental y Ocupacional

Grupo de Investigación:

TOXICAO

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Medicina, Departamento de Toxicología  
Bogotá, Colombia

2011

## Dedicatoria

A Dios, por ser mi fortaleza en los momentos difíciles y mi gozo en los momentos felices.

A mi madre, Nelly, por su apoyo único e incondicional en esta travesía, por escucharme y entenderme.

A mi esposo, Andrés, por su comprensión, por ser el motor de todos mis esfuerzos y a quien le debo muchos de mis logros.

A mi hermano, Andrés, por su valiosa amistad.

A mi amado hijo, mi nueva y mayor ilusión.

## **Agradecimientos**

A mis profesores por su apoyo y enseñanzas durante todo este proceso.

A la Secretaría de Salud de Soacha, por su colaboración logística durante las visitas a las empresas y sus valiosos aportes en cuanto a información para poder realizar este trabajo.

Al Instituto Nacional de Salud, Grupo de Salud Ambiental, por su colaboración en el análisis de muestras tomadas a los participantes.

A las empresas, empleadores y trabajadores participantes en este estudio, sin cuya participación este trabajo no hubiera sido posible.

## Resumen

Este trabajo buscó la presencia de alteraciones tóxicas en el sistema nervioso y determinó los niveles de protoporfirina zinc eritrocitaria (ZPP), biomarcador de exposición crónica a plomo en una población dedicada a la recuperación y reciclaje de metales, distribuidos en 8 empresas de Soacha, Cundinamarca. Se realizó una evaluación minuciosa de los trabajadores expuestos, buscando hallazgos clínicos relacionados con la intoxicación por plomo, específicamente a nivel neurológico. Se tomaron muestras de sangre para cuantificar los niveles de ZPP. Se encontró que el 66,18% de los evaluados presenta alteraciones clínicas neurológicas y el 61,19% presenta niveles altos de ZPP ( $>60 \mu\text{g/dL}$ ), lo que sugiere que los trabajadores pueden estar presentando un cuadro compatible con intoxicación crónica por plomo, en especial porque los principales hallazgos son alteraciones de los nervios periféricos de miembros superiores, lo cual concuerda con lo descrito en la literatura internacional, en donde se describe al plomo como un potente inductor de neuropatías periféricas, entre otros efectos conocidos a nivel del sistema nervioso central y periférico.

**Palabras clave:** Plomo, Neurotóxico, ZPP, Neuropatía Periférica, Fundición de Metales.

## **Abstract**

This study sought the presence of toxic changes in the nervous system and determined the levels of erythrocyte zinc protoporphyrin (ZPP), a biomarker of chronic lead exposure in a population dedicated to the recovery and recycling of metals, divided into 8 companies of Soacha, Cundinamarca . We conducted a thorough evaluation of exposed workers, seeking clinical findings related to lead poisoning, specifically neurological level. Blood samples were taken to quantify the levels of ZPP. We found that 66.18% of the individuals present clinical neurological abnormalities and 61.19% had high levels of ZPP ( $> 60$  mg / dL), suggesting that workers may be having symptoms compatible with chronic intoxication lead, especially since the main findings are disorders of peripheral nerves of upper limbs, which is consistent with that described in international literature, which describes the lead as a potent inducer of peripheral neuropathies, among other known effects level central and peripheral nervous system.

**Keywords:** Lead, Neurotoxic, ZPP, Peripheral Neuropathy, Metal Casting.

## Lista De Figuras

	Pág.
Figura No. 1. Producción global y consumo de metales tóxicos, 1850-1990.....	6
Figura No.2. Correlación de plomo y ZPP en sangre.....	17
Figura No. 3. Cronograma de Actividades.....	27
Figura No. 4. Distribución por Género.....	32
Figura No. 5. Distribución por Estado Civil .....	32
Figura No. 6. Distribución por Nivel Educativo.....	33
Figura No. 7. Distribución Según Tipo de Residencia.....	34
Figura No. 8. Frecuencia de Uso de Elementos de Protección Personal .....	35
Figura No. 9. Tipo de Afiliación al Sistema de Seguridad Social .....	36
Figura No. 10. Frecuencia de Fumadores.....	36
Figura No. 11. Distribución de Fumadores .....	37
Figura No. 12. Distribución de Consumidores de Drogas .....	38
Figura No. 13. Porcentaje de Consumo de Bebidas Alcohólicas .....	38
Figura No. 14. Tipo de Bebida Alcohólica .....	39
Figura No. 15. Frecuencia de Consumo de Bebidas Alcohólicas .....	40
Figura No. 16.Frecuencia de Hospitalizaciones.....	41
Figura No. 17. Distribución de Causas de Hospitalizaciones.....	41
Figura No. 18. Frecuencia de Cirugías.....	42
Figura No. 19. Distribución de Patologías .....	43
Figura No. 20. Distribución de Síntomas Neurológicos.....	45
Figura No. 21. Niveles ZPP .....	46
Figura No. 22. Porcentaje Examen Neurológico Anormal .....	47
Figura No. 23. Distribución Alteraciones Neurológicas.....	48
Figura No. 24. Porcentaje Examen Cardiopulmonar Anormal.....	49
Figura No. 25. Porcentaje Examen Vascular Periférico Anormal .....	49
Figura No. 26. Distribución de Otras Alteraciones .....	50

## Lista de Tablas

Pág.

Tabla No. 1. Composición de una Batería.....	20
Tabla No. 2. Empresas Manipuladoras de Metales en Soacha, Cundinamarca.....	21
Tabla No. 3. Plan de Gastos y Distribución del Presupuesto.....	26
Tabla No. 4. Cronograma de Actividades.....	27
Tabla No. 5. Listado de Empresas Participantes en el Trabajo.....	30
Tabla No. 6. Empresas Participantes en el Trabajo y No. de Trabajadores Disponibles.....	31
Tabla No. 7. Distribución por Género.....	31
Tabla No. 8. Distribución por Estado Civil.....	32
Tabla No. 9. Distribución por Nivel Educativo.....	33
Tabla No. 10. Distribución Según Tipo de Residencia.....	33
Tabla No. 11. Distribución Según el Cargo Desempeñado.....	34
Tabla No. 12. Frecuencia de Uso de Elementos de Protección Personal.....	35
Tabla No. 13. Tipo de Afiliación al Sistema de Seguridad Social.....	35
Tabla No. 14. Frecuencia de Fumadores.....	36
Tabla No. 15. Distribución de Fumadores.....	37
Tabla No. 16. Distribución de Consumidores de Drogas.....	37
Tabla No. 17. Porcentaje de Consumo de Bebidas Alcohólicas.....	38
Tabla No. 18. Tipo de Bebida Alcohólica.....	39
Tabla No. 19. Frecuencia de Consumo de Bebidas Alcohólicas.....	40
Tabla No. 20. Frecuencia de Hospitalizaciones.....	40
Tabla No. 21. Distribución de Causas de Hospitalizaciones.....	41
Tabla No. 22. Frecuencia de Cirugías.....	42
Tabla No. 23. Distribución de Patologías.....	42
Tabla No. 24. Frecuencia de Síntomas Neurológicos.....	44
Tabla No. 25. Niveles ZPP.....	45
Tabla No. 26. Distribución Niveles ZPP Según Género.....	46
Tabla No. 27. Porcentaje Examen Neurológico Anormal.....	46
Tabla No. 28. Distribución Alteraciones Neurológicas.....	47
Tabla No. 29. Porcentaje Examen Cardiopulmonar Anormal.....	48
Tabla No. 30. Porcentaje Examen Vascular Periférico Anormal.....	49
Tabla No. 31. Distribución de Otras Alteraciones.....	50

# Contenido

	Pág.
<b>Lista de figuras</b> .....	VII
<b>Lista de tablas</b> .....	VIII
<b>Resumen</b> .....	V
<b>Definición de problema</b> .....	1
<b>Justificación</b> .....	2
<b>1. Objetivos</b> .....	4
1.1 Objetivo general.....	4
1.2 Objetivos específicos .....	4
<b>2. Marco teórico</b> .....	5
2.1 Plomo.....	5
2.1.1. Características generales del plomo.....	5
2.1.2. Comportamiento del plomo en el medio ambiente.....	5
2.1.3. Fuentes y usos .....	6
2.1.4 Aspectos toxicológicos del plomo.....	7
2.1.4.1. Exposición.....	7
2.1.4.2. Toxicocinética del plomo.....	8
2.1.4.2.1. Absorción.....	8
2.1.4.2.1.1 Tamaño de las partículas.....	8
2.1.4.2.2 Distribución.....	9
2.1.4.2.3 Eliminación.....	9
2.1.4.3 Toxicodinamia del plomo.....	9
2.1.4.3.1 Interferencia con la homeostasis del calcio .....	10
2.1.4.3.2 Alteraciones de la fosforilación oxidativa.....	10
2.1.4.3.3 Alteración de la actividad ATPasaNa <sup>+</sup> - k <sup>+</sup> .....	10
2.1.4.3.4 Inhibición de la vía metabólica del grupo hemo.....	11
2.1.4.4 Efectos neurotóxicos del plomo.....	11
2.1.4.5 Efectos neuropatológicos a nivel del sistema nervioso central y periférico.....	11
2.1.4.5.1 Efectos neuropatológicos sobre el sistema nervioso central...11	
▪ Cerebelo.....	11

▪	Corteza cerebral.....	11
▪	Hipocampo.....	11
	2.1.4.5.2Efectos neuropatológicos sobre el sistema nervioso periférico.....	12
	.....	12
2.1.4.6	Cuadro clínico de la intoxicación por plomo.....	12
2.1.4.6.1	Exposición aguda.....	12
2.1.4.6.2	Exposición crónica.....	12
2.1.4.6.2.1	Efectos neurológicos.....	12
2.1.4.6.2.2	Efectos hematológicos.....	13
2.1.4.6.2.3	Efectos endocrinos.....	13
2.1.4.6.2.4	Efectos gastrointestinales.....	13
2.1.4.6.2.5	Efectos renales.....	13
2.1.4.6.2.6	Efectos sobre la reproducción y el desarrollo.....	13
2.1.4.6.2.7	Efectos carcinogénicos.....	14
2.1.4.6.2.8	Secuencia de signos y síntomas asociados a la toxicidad por plomo.....	14
2.1.5	Valores limites.....	15
2.1.5.1	Valores BEI.....	15
2.1.5.2	Valores TLV.....	15
2.1.6	Vigilancia de la exposición.....	15
2.1.6.1	Medición de biomarcadores.....	15
2.1.6.1.1	Biomarcadores de exposición específicos.....	16
2.1.6.1.1.1	Niveles de plomo en sangre.....	16
2.1.6.1.1.2	Niveles de plomo en orina.....	16
2.1.6.1.1.3	Niveles de plomo en orina tras administración de EDTA..	16
2.1.6.1.1.4	Niveles de protoporfirina zinc eritrocitaria.....	16
2.1.6.1.1.5	Nivel de actividad de la acido delta aminolevulinico deshidratasa.....	17
2.1.6.1.1.6	Fluorescencia de rayos x.....	18
2.1.6.1.2	Biomarcadores de efecto no específicos.....	18
2.1.6.1.2.1	Hemograma con frotis periférico.....	18
2.1.6.1.2.2	BUN, creatinina y análisis de orina.....	18
2.1.6.2	Control de plomo en el ambiente de trabajo.....	18
2.2	Proceso de fundición.....	19
<b>3.</b>	<b>Metodología.....</b>	<b>21</b>

3.1	Tipo de estudio.....	21
3.2	Área geográfica.....	21
3.3	Universo de estudio y muestra.....	21
3.3.1	Universo.....	21
3.3.2	Calculo de la muestra.....	22
3.4	Criterios de inclusión y de exclusión.....	23
3.4.1	Criterios de inclusión.....	23
3.4.2	Criterios de exclusión.....	23
3.5	Variables.....	23
3.5.1	Variable dependiente.....	23
3.5.2	Variables independientes.....	23
3.5.3	Variables de exposición.....	24
3.6	Materiales, procedimientos y métodos.....	24
3.6.1	Niveles de ZPP.....	24
3.6.2	Historia clínica toxicológica.....	24
3.6.3	Examen clínico.....	24
3.6.4	Test Minimental.....	24
3.7	Recolección y procesamiento de datos.....	25
3.8	Análisis estadístico.....	25
<b>4.</b>	<b>Presupuesto.....</b>	<b>26</b>
<b>5.</b>	<b>Cronograma de actividades.....</b>	<b>27</b>
<b>6.</b>	<b>Ejecución del trabajo de campo.....</b>	<b>27</b>
<b>7.</b>	<b>Consideraciones éticas del estudio.....</b>	<b>29</b>
7.1	Propiedad intelectual.....	29
7.2	Declaración de conflicto de intereses.....	29
<b>8.</b>	<b>Presentación de resultados.....</b>	<b>30</b>
8.1	Perfil de la población.....	30
8.1.1	Distribución por edad.....	31
8.1.2	Distribución por género.....	31
8.1.3	Distribución por estado civil.....	32
8.1.4	Distribución por nivel educativo.....	32
8.2	Perfil demográfico.....	33
8.2.1	Distribución según tipo de residencia.....	33
8.3	Variables ocupacionales de la población de estudio.....	34
8.3.1	Tiempo y cargo desempeñado.....	34

8.3.2	Uso de elementos de protección personal .....	34
8.3.3	Afiliación al sistema general de seguridad social .....	35
8.4	Hábitos tóxicos relacionados.....	36
8.4.1	Tabaquismo.....	36
8.4.2	Consumo de drogas.....	37
8.4.3	Consumo de bebidas alcohólicas.....	38
8.5	Antecedentes médicos personales.....	40
8.5.1	Hospitalizaciones.....	40
8.5.2	Cirugías.....	42
8.5.3	Antecedentes patológicos .....	42
8.6	Síntomas neurológicos.....	43
8.7	Niveles de ZPP.....	45
8.8	Alteraciones en el examen clínico.....	46
8.8.1	Alteraciones en el examen neurológico .....	46
8.8.2	Alteraciones en el examen cardiopulmonar.....	48
8.8.3	Alteraciones en el examen del sistema vascular periférico.....	49
8.8.4	Otras alteraciones.....	50
8.9	Resultados Minimental.....	50
<b>9.</b>	<b>Análisis y discusión de resultados.....</b>	<b>51</b>
<b>10.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>54</b>
10.1.	Conclusiones.....	54
10.2.	Recomendaciones.....	55
<b>A.</b>	<b>Anexo. Consentimiento informado.....</b>	<b>56</b>
<b>B.</b>	<b>Anexo. Reporte de niveles de protoporfirinazinceritrocitaria .....</b>	<b>57</b>
<b>C.</b>	<b>Anexo. Historia clínica toxicológica y examen físico neurológico.....</b>	<b>58</b>
<b>D.</b>	<b>Anexo. Test Minimental.....</b>	<b>62</b>
<b>E.</b>	<b>Anexo. Formato de entrega de resultados.....</b>	<b>63</b>
<b>Bibliografía.....</b>		<b>64</b>

## Definición del Problema

A lo largo de la historia, el hombre ha vivido expuesto a una cantidad innumerable de riesgos de toda clase, tanto en el ambiente donde habita, como en el ambiente donde labora. La exposición a metales ha estado ligada a muchas labores, las cuales, al igual que el hombre, han evolucionado con el desarrollo de nuevas tecnologías e invenciones.

Los metales en forma inorgánica son los componentes fundamentales de los minerales de la corteza terrestre por lo que se cuentan entre los agentes químicos tóxicos de origen natural más antiguamente conocidos por el hombre (7). Los metales difieren de otras sustancias tóxicas en que no pueden ser creados ni destruidos por el hombre (11). La exposición humana a compuestos metálicos se produce ambientalmente a través del consumo de agua y alimentos, normalmente a dosis bajas, pero en general su toxicidad se ha expresado sobre todo por exposiciones de tipo profesional en actividades mineras y metalúrgicas, y de forma anecdótica, al emplearse con fines homicidas. Grandes autores clásicos que se interesaron en estos temas describieron intoxicaciones crónicas por metales relacionados con la minería de elementos muy tóxicos como el mercurio o el plomo. Por otra parte, el metaloide arsénico ha sido uno de los tóxicos más empleados con fines suicidas y homicidas (7).

El sistema nervioso es uno de los primeros sitios blanco de la toxicidad por metales, incluido el plomo. Muchas alteraciones neurológicas características, cambios del comportamiento y patologías neurológicas han sido observadas en animales y humanos como resultado de exposición a plomo. Estos efectos son resultado de cambios adversos estructurales y funcionales en los diversos componentes del sistema nervioso (14).

En los procesos de fundición, manipulación y recuperación de metales existe un alto riesgo de exposición a plomo, ya sea como componente principal o materia prima, o como contaminante presente en diferentes piezas metálicas que entran en estos procesos, lo que implica una alta posibilidad de intoxicación crónica, lo que trae graves consecuencias para la salud, especialmente a nivel neurológico.

Teniendo en cuenta los aspectos planteados previamente, surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Existen alteraciones neurológicas en los trabajadores expuestos laboralmente en los procesos desarrollados en las empresas manipuladoras y fundidoras de plomo?

## Justificación

Se estima que existen actualmente más de siete millones de sustancias químicas y anualmente se aumentan en varios centenares, sobre todo productos de síntesis. Sin embargo, aproximadamente unas 70.000 sustancias son las utilizadas comúnmente en los diversos procesos productivos, las que individualmente o mezcladas para la formación de productos y formulaciones industriales, hacen que sobrepase al millón el número de productos comerciales terminados (20).

Las siguientes son cifras aproximadas, relativas al uso de químicos, que permiten predecir la complejidad de su estudio. Existen en la actualidad: 7.000.000 compuestos comerciales; 100.000 sustancias primarias (ingredientes activos); 4.000 sustancias relativamente bien investigadas desde el punto de vista toxicológico; 2.000 con sospecha de ser carcinogénicas; 60 con confirmación carcinogénica en humanos; 1.600 con evaluación teratogénica y fetotóxica; 800 teratógenos en animales; 50 teratógenos en humanos; 1.200 frecuentemente asociados con accidentes (20).

La exposición a elementos metálicos se produce principalmente en la actividad laboral. La población general entra en contacto con ellos a través del agua, los alimentos y el ambiente, donde su presencia se ha incrementado por la intervención de la actividad industrial humana sobre los ciclos hidrogeológicos (7).

Un gran número de actividades industriales implica la manipulación de metales. Se destacan la minería y las industrias de transformación, fundiciones y metalurgia en general. Algunas actividades específicas producen riesgos mayores frente a determinados elementos, como la exposición al plomo en las empresas de baterías o exposición al mercurio en las operaciones de electrólisis. La atmósfera es una importante fuente de exposición, contaminada por diversos metales en forma de polvos, humos o aerosoles, con frecuencia de origen industrial, procedentes de combustiones fósiles y por su presencia en la gasolina (7).

El principal riesgo del plomo es su toxicidad. La intoxicación por plomo ha sido una de las enfermedades profesionales más importantes en la historia. Gracias a la prevención y las nuevas técnicas se ha logrado reducir el número de casos descritos y sus manifestaciones clínicas son menos graves. Sin embargo es evidente que pueden producirse efectos adversos con niveles de exposición antes considerados aceptables (3, 8).

En Bogotá y Soacha (Colombia), muchas de las industrias que realizan procesos de fundición pertenecen al sector informal de la economía o son microempresas familiares, en donde todos los trabajadores rotan por los diferentes oficios durante los procesos para reciclaje y recuperación de metales; pueden comprar baterías viejas y otros residuos metálicos de construcción, los cuales posteriormente se funden a temperaturas de 400-450 °C en estufas abiertas y en condiciones locativas muy precarias, sin ventilación adecuada, puesto que los lugares de trabajo suelen ser cerrados. Una vez se obtiene el metal fundido se vierte en moldes de aluminio, obteniendo lingotes, que después son comercializados. Este proceso se convierte en fuente importante de exposición a vapores, partículas y residuos de plomo inorgánico; si a esto se agrega el bajo porcentaje en el uso de elementos

de protección personal y las malas condiciones de higiene, el riesgo de exposición a este metal puede ser mayor (6). Esta problemática se convierte también en una fuente de contaminación para otros miembros de la familia y la comunidad. En Colombia no se tienen suficientes datos estadísticos, no se ha evaluado a profundidad la magnitud real del problema de salud derivado de la exposición ocupacional al plomo en el sector informal. El saturnismo afecta a 35% de quienes trabajan en fábricas de baterías, 14.6% de quienes lo hacen en fundición, imprentas y con cerámica, también se han encontrado niveles de plomo en sangre por arriba de 66  $\mu\text{g}/\text{dl}$  en 51% de los trabajadores de baterías en Bogotá (6).

En Colombia se ha recomendado la medición de niveles de plomo en sangre como método de seguimiento confiable para trabajadores que manipulan este metal; sin embargo, se ha demostrado que dicha prueba no ha tenido el uso masivo que se requiere, entre otros factores por su alto costo (75% más que la protoporfirina zinc eritrocitaria). Es por ello que el estudio llevado a cabo por Cárdenas (6) en trabajadores de fábricas de baterías, exploró y encontró la utilidad de la protoporfirina zinc eritrocitaria como prueba tamiz en programas de vigilancia epidemiológica para trabajadores que se exponen al plomo. Dada la utilidad de esta prueba como biomarcador y por su bajo costo, se definió su uso en el presente estudio, dejando para una segunda fase la realización de los niveles de plomo en sangre por sus costos.

Con base en los datos expuestos surge la necesidad de diseñar este trabajo, que permita explorar las asociaciones entre la exposición laboral a plomo y las posibles alteraciones en el sistema nervioso de los trabajadores; de manera que se puedan generar conocimientos que aporten al diagnóstico en salud de los mismos y así permitir la generación de medidas que permitan mejorar las condiciones de trabajo, y la detección temprana de alteraciones neurológicas mediante reconocimientos periódicos y pruebas de tamizaje.

Este trabajo también permitirá ampliar los conocimientos existentes acerca de neurotoxicidad, posiblemente atribuible a plomo, ya que hay pocos trabajos de este tipo desarrollados en Colombia.

## **1. Objetivos**

### **1.1. Objetivo general**

Determinar la presencia de alteraciones tóxicas sobre el sistema nervioso central y periférico y los niveles de un biomarcador de exposición a plomo en una población de trabajadores expuestos al proceso de fundición de metales.

### **1.2. Objetivos específicos**

- Realizar valoración médica toxicológica con énfasis en la evaluación neurológica a la población en estudio.
- Determinar los niveles de protoporfirina zinc eritrocitaria como biomarcador de exposición crónica a plomo en la población expuesta.
- Establecer la frecuencia de alteraciones neurológicas posiblemente atribuibles a la exposición a plomo en la población de estudio.
- Aplicar la prueba Minimental en los trabajadores, como método para determinar posibles efectos secundarios a la exposición a plomo.

## **2. Marco teórico**

### **2.1. Plomo**

#### **2.1.1. Características generales del plomo**

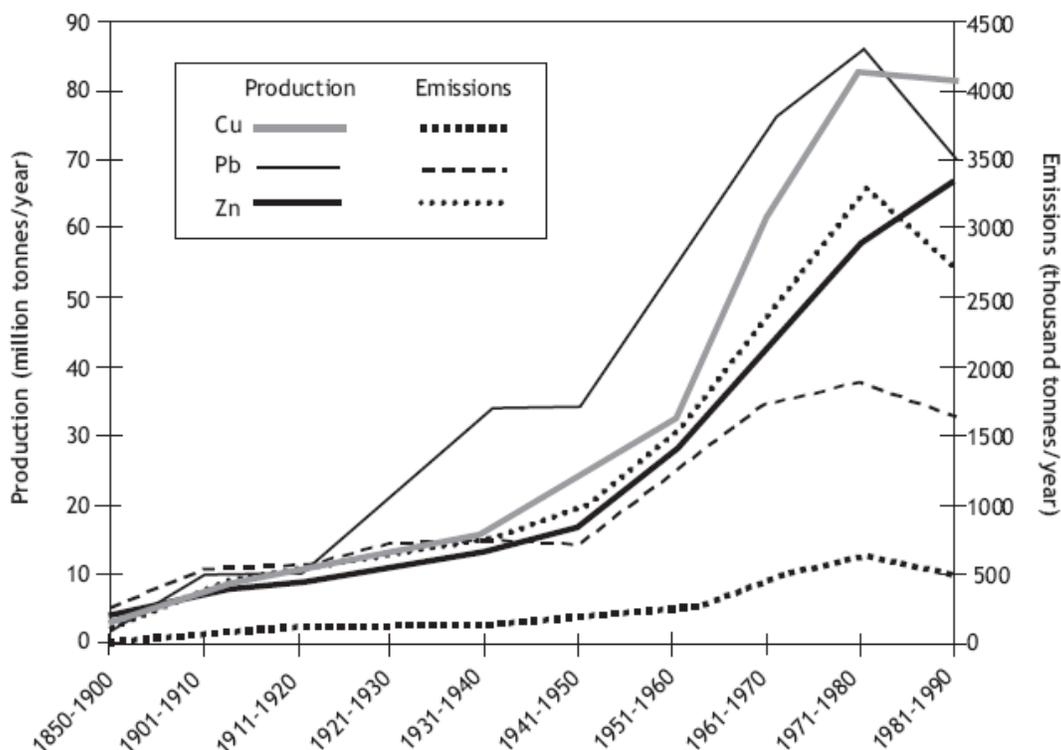
El plomo es un metal ampliamente utilizado por su ductilidad, alta densidad y poca reactividad química, así como su fácil extracción, relativa abundancia y bajo costo (8). El plomo es un metal pesado, gris y blando muy difundido en la corteza terrestre. Se encuentra en la naturaleza como mezcla de 3 isótopos (206, 207 y 208). Su forma más abundante es el sulfuro (PbS), formando las menas de galena. Con frecuencia está asociado a otros metales, como plata, cobre, zinc, hierro y antimonio. Forma compuestos en estado de valencia  $2^+$  y  $3^+$ , orgánicos, como acetato, tetraetilo y tetrametilo e inorgánicos, como nitrato, arsenato, carbonato, cloruro, óxidos y silicato. Por su bajo punto de fusión fue uno de los primeros metales empleados por el hombre y su intoxicación crónica, el saturnismo, se conoce desde la antigüedad (7).

#### **2.1.2. Comportamiento del plomo en el medio ambiente**

Los metales pesados han sido usados en múltiples áreas por cientos de años. El plomo ha sido usado desde hace más de 5000 años, se ha encontrado en diferentes materiales de construcción, pigmentos de cerámicas cristalizadas y vasijas para transporte de agua. En la Roma Antigua, el acetato de plomo era usado como endulzante del vino, el mercurio era empleado para aliviar el dolor de la dentición en los niños y como remedio para la sífilis.

La exposición a metales pesados se ha incrementado intensamente en algunas áreas. Por ejemplo, el mercurio es ampliamente usado en la minería del oro en muchos lugares de Latinoamérica, el arsénico es usado como preservante de la madera y el plomo tetraetilo fue un aditivo de la gasolina ampliamente usado, pero que ya se ha retirado en muchos países desarrollados. Después de la segunda mitad del siglo XIX, el uso industrial de los metales pesados se incrementó de manera importante, con el consecuente aumento de las emisiones al ambiente (10).

Figura 1. Producción global y consumo de metales tóxicos, 1850-1990 (10).



A finales del siglo XX, las emisiones de los metales pesados empezaron a disminuir en países desarrollados, por ejemplo en el Reino Unido, las emisiones disminuyeron cerca del 50% entre 1990 y 2000 (10).

Durante el último siglo, las emisiones de plomo al aire ambiental han aumentado en un 50%, su fuente principal proviene de la gasolina, hasta hace pocas décadas, las emisiones de plomo han empezado a disminuir, gracias a la introducción de la gasolina libre de plomo en países desarrollados. Se pueden encontrar altos niveles de emisiones de plomo en áreas cercanas a minas y empresas metalúrgicas. Este plomo que se encuentra en el aire puede depositarse en el suelo y en el agua, en donde puede fijarse y permanecer por cientos de años, de tal manera que puede movilizarse a algunas plantas, por lo cual también se pueden afectar algunos alimentos (1,10). El suelo no contaminado tiene concentraciones de plomo menores a 50 ppm, pero hay áreas urbanas en las que éstos llegan a exceder las 200 ppm (1).

### 2.1.3. Fuentes y usos

Los minerales de plomo se encuentran ampliamente distribuidos a nivel mundial. El mineral más rico es la galena (sulfuro de plomo) y es la fuente principal de producción comercial de este metal. Otros minerales de plomo son: la cerusita (carbonato), la anglesita (sulfato), la corcoita (cromato), la wulfenita (molibdato), la piromorfita (fosfato), la mutlockita (cloruro) y la vanadinita (vanadato). Muchas veces, los minerales de plomo suelen contener otros metales tóxicos. Los minerales de plomo son separados mediante el triturado en seco, la molturación en húmedo (para obtener una pasta), la clasificación

gravimétrica y la flotación. Los minerales de plomo liberados se funden mediante un proceso en tres etapas: preparación de la carga (mezcla, condicionamiento, etc.), sinterizado y reducción en hornos altos. Posteriormente el metal se refina mediante la separación del cobre, el estaño, el arsénico, el antimonio, el zinc, la plata y el bismuto (3,8,13).

El plomo metálico se utiliza como planchas o tubos cuando se requiere una gran maleabilidad y resistencia a la corrosión, como en la industria química o en la construcción. También se utiliza para el revestimiento de cables, es componente de soldadura y como empaste en la industria automovilística. Es un material excelente como protector contra radiaciones ionizantes. Se utiliza en procesos de metalizado para recubrimientos protectores, en la fabricación de acumuladores y como baño de termotratamiento en el revenido de hilos metálicos. Se encuentra en una gran variedad de aleaciones y sus compuestos se preparan y utilizan en grandes cantidades en numerosas industrias (3,13).

Aproximadamente un 40% del plomo se utiliza en forma metálica, un 25% en aleaciones y un 35% en compuestos químicos. Los óxidos de plomo se utilizan en las placas de las baterías eléctricas y los acumuladores ( $PbO$  y  $Pb_3O_4$ ), como agentes de mezcla en la fabricación de caucho ( $PbO$ ) y en la fabricación de pinturas ( $Pb_3O_4$ ) y como componentes de barnices, esmaltes y vidrio. Las sales de plomo son la base de muchas pinturas y pigmentos. El arseniato de plomo es empleado como insecticida; el sulfato de plomo se utiliza en mezclas de caucho; el acetato de plomo tiene usos importantes en la industria química; el naftenato de plomo es un agente secante muy utilizado y el plomo tetraetilo se utiliza como agente antidetonante para la gasolina en aquellos países en que la legislación aún lo permite (3,13).

*Aleaciones de plomo.* El plomo en combinación con otros metales como antimonio, arsénico, estaño y bismuto, mejora sus propiedades mecánicas o químicas. El plomo puede añadirse a otras aleaciones, como el latón, el bronce o el acero con el fin de lograr determinadas características (3).

El plomo o sus aleaciones se funden y cuegan en moldes. La fusión del plomo no significa la producción de gran cantidad de vapor de plomo, ya que su punto de fundición está muy por debajo del de ebullición. No obstante, el plomo fundido se oxida rápidamente en su superficie, y cuando se cuega o se agita en presencia del aire, emite una cantidad importante de polvo fino de óxido de plomo. Por esta razón la manipulación del plomo fundido o sus aleaciones constituye una fuente potencial de exposición excesiva al plomo. El riesgo saturnino en las imprentas casi ha desaparecido, ya que se ha sustituido el procedimiento tipográfico por otras técnicas que no requieren el empleo de plomo (13).

En los últimos años se ha prestado especial atención al impacto ambiental de los perdigones empleados en la caza. El uso de aditivos de plomo en las pinturas de uso doméstico se ha ido restringiendo en las últimas décadas, sobre todo por el peligro que representan para los niños (7).

## **2.1.4. Aspectos toxicológicos del plomo**

### **2.1.4.1. Exposición**

El interés toxicológico por el plomo se ha acentuado, especialmente como agente contaminante del ambiente en los países industrializados. Es un contaminante de la

atmósfera de las empresas que producen o utilizan plomo y también de los centros urbanos como consecuencia de su presencia en los gases de escape de los automóviles (13).

Son muchas las ocupaciones en las que puede tener lugar la exposición al plomo. En la minería del plomo se produce una absorción considerable a través del aparato digestivo. El riesgo depende de la solubilidad de las sustancias. El sulfuro de plomo (PbS) en la galena es insoluble y su absorción por vía pulmonar es limitada; sin embargo, en el estómago, parte del sulfuro de plomo puede convertirse en cloruro de plomo ligeramente soluble y llegar a absorberse en cantidades moderadas (3).

En las fundiciones de plomo, los riesgos principales son derivados del polvo de plomo que se produce durante las operaciones de triturado y molienda, y de los óxidos de plomo que se liberan durante la sinterización, la reducción en hornos altos y el refinado. Los riesgos del trabajo con plomo aumentan en función de la temperatura. El recubrimiento por rociado de metales con plomo fundido es muy peligroso, pues genera polvo y humos a temperaturas elevadas (3).

#### **2.1.4.2. Toxicocinética del plomo**

##### **2.1.4.2.1. Absorción**

La velocidad a que se absorbe el plomo depende de su forma química y física y de las características fisiológicas de la persona expuesta especialmente relacionadas con la edad y el estado nutricional (5). En la industria, la principal vía de entrada es la respiratoria. Puede absorberse por las vías aéreas superiores, pero la proporción mayor se absorbe a nivel alveolar. Se absorbe bien en forma de humos o partículas finas que son fagocitadas por los macrófagos alveolares (7). El grado de absorción depende de la proporción de polvo en forma de partículas de un tamaño menor a 5  $\mu\text{m}$  y del volumen/minuto respiratorio del trabajador. Por lo tanto, una mayor carga de trabajo produce una mayor absorción de plomo (3,5,13).

La absorción gastrointestinal depende de la solubilidad del tipo de sal y del tamaño de las partículas. Los adultos no absorben por esta vía más del 20-30% de la dosis ingerida pero en los niños y las embarazadas se alcanza hasta un 50%. La absorción cutánea tiene escasa importancia aunque pueden absorberse las formas orgánicas. Además, el plomo de los proyectiles termina solubilizándose y distribuyéndose desde los tejidos donde han quedado alojados (7). También se incrementa en condiciones de ayuno y en casos de déficit de hierro o calcio (13). Debe tenerse en cuenta que factores como una mala higiene en el trabajo, el hábito de fumar durante el mismo (contaminación del tabaco o de las manos) y una mala higiene personal pueden aumentar considerablemente la exposición, sobre todo por vía oral (3,5,13).

**2.1.4.2.1.1. Tamaño de las partículas.** Es importante determinar el tamaño de las partículas de polvo de plomo industrial, el cual depende del proceso que origina el polvo. El polvo fino con partículas de un tamaño respirable se produce durante procesos de pulverizado y mezcla de colores de plomo, el trabajo abrasivo del material de relleno de plomo en las

carrocerías de automóviles y el lijado en seco de las pinturas de plomo. Los gases de escape de motores de gasolina producen partículas de cloruro y bromuro de plomo de 1 µm de diámetro (3).

#### **2.1.4.2.2. Distribución**

En el organismo humano, el plomo inorgánico no se metaboliza, se absorbe, se distribuye y se excreta directamente (13). La facilidad con que este metal penetra y se distribuye en el organismo obedece a que emplea, entre otros, los mecanismos de transporte para la absorción de calcio, zinc, magnesio y otros metales requeridos por el organismo (8).

Una vez en la sangre, el plomo se distribuye en tres compartimentos: la sangre, los tejidos blandos (riñón, médula ósea, hígado y cerebro) y el tejido mineralizado (huesos y dientes). El tejido mineralizado contiene aproximadamente el 95% de la carga corporal total de plomo en los adultos (7). El plomo en los tejidos mineralizados se acumula en subcompartimentos que difieren en la velocidad de reabsorción del plomo. En el hueso existe un componente lábil, que intercambia rápidamente el plomo con la sangre, y un reservorio inerte. El plomo de este reservorio representa un riesgo especial, pues es una fuente endógena de plomo (5).

El hueso es el territorio preferente de acumulación, en sustitución del calcio. A nivel local no genera ningún problema, pero si puede ser origen de reaparición de toxicidad crónica por movilización. El tiempo de vida media del plomo en la sangre es de 25 días en el adulto, 10 meses en el niño, 40 días en los tejidos blandos, 90 días en el hueso trabecular y 10-20 años en el cortical (3,5,7,13).

Cuando el organismo se encuentra en condiciones de estrés, como durante el embarazo, la lactancia o una enfermedad crónica, este plomo normalmente inerte puede mobilizarse mucho más y aumentar los niveles de plomo en sangre. Debido a la existencia de estos depósitos de plomo móviles, deben transcurrir varios meses o incluso años para observar una disminución significativa en los niveles sanguíneos de plomo, incluso tras la eliminación de la fuente de exposición (3).

El 99% del plomo en la sangre está asociado con los eritrocitos; el 1 % restante está presente en el plasma, donde está disponible para ser transportado a los tejidos (3).

#### **2.1.4.2.3. Eliminación**

El plomo en la sangre que no se retiene se excreta principalmente a nivel renal o por aclaramiento biliar al tracto gastrointestinal (3). La eliminación urinaria normal es de 30 µg/24 h. No está claro qué proporción del plomo detectado en las heces corresponde a la parte no absorbida (7).

#### **2.1.4.3. Toxicodinamia del plomo**

Se ha visto que el plomo altera la expresión genética, la transducción de señales, y el sistema calcio mensajero (8,14). Los principales blancos del plomo son una serie de sistemas enzimáticos con grupos tiol, sobre todo dependientes de zinc. Entre los de mayor expresión clínica destacan dos enzimas que intervienen en la síntesis del grupo hemo: la

delta-aminolevulínico deshidrasa (ALA-D) y la ferroquelatasa. Su inhibición por el plomo interfiere con la síntesis del hemo y se traduce en un aumento de la coproporfirina urinaria y un aumento de la protoporfirina zinc eritrocitaria. Otros sistemas enzimáticos afectados se relacionan con alteraciones en la integridad de las membranas celulares. Estos dos tipos de efecto tienen como consecuencia una anemia normocrómica y normocítica que presenta un punteado basófilo característico en los hematíes. Este punteado está constituido por agregados de ARN degradado, normalmente eliminado por la enzima pirimidina-5-nucleotidasa, que se encuentra inhibida (7).

Por su capacidad para sustituir el calcio y otros cationes divalentes en la maquinaria molecular, los efectos del plomo abarcan prácticamente la totalidad del ambiente celular, lo que permite rastrear sus secuelas desde la matriz extracelular hasta el núcleo. Muchos de estos efectos son producto de la interacción directa del plomo con el componente celular en cuestión, otros son resultado del mal funcionamiento de procesos más complejos como la regulación genética, la síntesis de proteínas o el metabolismo energético, por lo cual se amplifica su efecto a proteínas y sistemas que estructuralmente no son susceptibles a su acción (8).

Los mecanismos de daño más importantes causados por el plomo son:

#### **2.1.4.3.1. Interferencia con la homeostasis del calcio:**

La similitud química del plomo con el calcio, le permite interferir con diversas vías metabólicas en la mitocondria y en sistemas de segundos mensajeros que regulan el metabolismo energético, así como en los canales de  $\text{Ca}^{++}$  dependientes de voltaje, que intervienen en la neurotransmisión sináptica, a los que inhibe, y en las proteínas-quinasas dependientes de calcio, que activa (7, 8). Diversos sistemas de neurotransmisión afectados por el plomo son los regulados por la acetilcolina, dopamina, norepinefrina, GABA y glutamato (7).

La interferencia con el  $\text{Ca}^{++}$ , en las células endoteliales de los capilares cerebrales, podría explicar la encefalopatía aguda, ya que produce una disrupción de la integridad de las uniones intercelulares fuertes que caracterizan a la barrera hematoencefálica y da lugar a un edema cerebral. Las alteraciones del desarrollo psicomotor en los niños, relacionadas con exposiciones a bajas dosis de plomo, están condicionadas por la mayor permeabilidad al tóxico de los capilares inmaduros junto a las mencionadas alteraciones en la neurotransmisión, de mayor impacto en fases de desarrollo de la organización del sistema nervioso central (7).

#### **2.1.4.3.2. Alteraciones de la fosforilación oxidativa:**

Las alteraciones renales están relacionadas con disfunciones en la fosforilación oxidativa mitocondrial. Se observan además cuerpos de inclusión nucleares formados por complejos plomo-proteína. El Plomo disminuye la eliminación renal de ácido úrico produciendo la “gota saturnina”(7).

#### **2.1.4.3.3. Alteración de la actividad de la $\text{ATPaseNa}^+ - \text{K}^+$ :**

Una disminución de la actividad de la  $\text{ATPaseNa}^+ - \text{K}^+$  y un aumento de la bomba de intercambio  $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{++}$  produce cambios en la contractilidad del músculo liso vascular que desemboca en la hipertensión frecuentemente presente en la intoxicación crónica en el

adulto. A ella pueden contribuir los cambios en el sistema renina-angiotensina (7). El plomo interfiere con la  $\text{ATPase Na}^+ - \text{K}^+$  de la membrana del glóbulo rojo, lo que determina un aumento de la fragilidad y disminución de la supervivencia de los hematíes.

#### **2.1.4.3.4. Inhibición de la vía metabólica del grupo hemo:**

El plomo inhibe la capacidad para producir hemoglobina al interferir con varios pasos enzimáticos en la vía metabólica del grupo hemo. La ferroquelatasa, que cataliza la inserción del hierro en la protoporfirina IX, es bastante sensible al plomo. La disminución en la actividad de esta enzima produce un aumento en la concentración del sustrato, es decir, la protoporfirina zinc eritrocitaria (7).

#### **2.1.4.4. Efectos neurotóxicos por plomo**

El efecto neuropatológico más prominente causado por el plomo en exposición aguda es la encefalopatía por edema intersticial generalizado. Este cambio es resultado de alteraciones en la microvasculatura y las propiedades de la barrera del endotelio capilar. Los astrocitos, parte integral de la barrera hemato-encefálica (BHE), también son afectados por el plomo, posiblemente por alteraciones en la homeostasis del  $\text{Ca}^{++}$  o por activación de la proteinquinasa C, estos cambios comprometen la integridad y la función de la barrera hematoencefálica (8,13,14).

#### **2.1.4.5. Efectos neuropatológicos a nivel del sistema nervioso central y periférico**

##### **2.1.4.5.1. Efectos neuropatológicos sobre el sistema nervioso central.**

Los cambios morfológicos más comunes en el cerebro incluyen edema cerebral difuso, proliferación y edema de células endoteliales y necrosis focal. Puede observarse una proliferación difusa de astrocitos en la materia gris y en la blanca. Los efectos neuropatológicos se centran en tres regiones: cerebelo, corteza cerebral e hipocampo (8,14,19).

- ***Cerebelo***

En ratas expuestas durante el desarrollo se han encontrado los siguientes cambios: edema y hemorragias focales en la materia gris; atrofia regional, hipoplasia, cavitación y degeneración de la materia blanca. Células en proceso de degeneración y pérdida de las células de Purkinje (14).

- ***Corteza cerebral***

Se ha observado edema en la materia blanca del cuerpo estriado con proliferación de capilares, sin embargo estos cambios se han observado en animales muy jóvenes, por lo cual pueden desaparecer cuando la exposición cesa. Se ha reportado retardo en la sinaptogénesis en la corteza cerebral en ratas expuestas pre y post natalmente, lo cual se ha atribuido a alteraciones en el metabolismo energético cerebral (14).

- **Hipocampo**

Diferentes estudios sugieren que la exposición a plomo tiene efectos significativos sobre el crecimiento hipocampal. La exposición a plomo disminuye el tamaño de la zona fibra de musgo, la densidad numérica y el tamaño de las células del estrato granuloso (14).

Se ha visto que el plomo puede inducir cambios estructurales en el hipocampo de animales en desarrollo expuestos a bajos niveles. Existen cambios significativos en el tamaño de la zona fibra de musgo y en las células del estrato granuloso. Estos cambios estructurales junto con cambios en neurotransmisores, pueden ser responsables de muchos cambios comportamentales observados en animales (14).

#### **2.1.4.5.2. Efectos neuropatológicos sobre el sistema nervioso periférico.**

Uno de los daños más conocidos por el plomo es su potencial efecto para inducir neuropatías periféricas. Estos cambios a nivel del sistema nervioso periférico afectan principalmente a las fibras nerviosas largas mielinizadas. Los cambios patológicos en los nervios periféricos pueden incluir edema marcado de los nervios, desmielinización segmentaria y degeneración axonal. Los cambios en la mielinización han sido sugeridos como responsables del daño de la barrera sangre-nervio, lo cual permitirá la entrada de fluidos que contienen plomo al endoneurio (8,14).

La neuropatía por plomo se produce por daño de las neuronas motoras del asta anterior de la médula espinal, con degeneración de las terminales axónicas (14).

#### **2.1.4.6. Cuadro clínico de la intoxicación por plomo**

##### **2.1.4.6.1. Exposición aguda**

Generalmente no se da en la industria. Puede producirse por ingestión accidental o voluntaria de una sal de plomo (p.ej: acetato de plomo). Algunos de los síntomas pueden ser cefalea, irritabilidad, dolor epigástrico y abdominal, náuseas y vómito. En algunos casos más severos puede haber alteraciones de la función renal (albuminuria, cilindruria, oliguria) y alteración a nivel hepático (10,11,13). La encefalopatía aguda es una de las consecuencias más serias en esta intoxicación y es la más común en niños. Los signos más característicos incluyen somnolencia, alteraciones del comportamiento, vómito esporádico, ataxia, apatía, confusión, coma y convulsiones, pueden llevar a la muerte en 3 o 4 días (8,11,13). Este cuadro puede ser mucho más complicado en niños (10).

##### **2.1.4.6.2. Exposición Crónica**

###### **2.1.4.6.2.1. Efectos neurológicos**

El destino más sensible es el sistema nervioso. En niños, se han descrito deficiencias neurológicas con niveles de exposición que antes no se consideraban nocivos. La toxicidad del plomo en la infancia puede tener efectos permanentes. En general se produce una deficiencia continua en el desarrollo neurológico, que se manifiesta como una puntuación

de Coeficiente Intelectual más baja y una deficiencia cognitiva. En niños expuestos se observa un menor rendimiento en clase, un mayor índice de absentismo, mayores dificultades para leer, carencias de vocabulario y problemas de psicomotricidad fina, tiempo de reacción y alteraciones de la coordinación mano-ojos. También se ha observado una disminución en la agudeza auditiva, especialmente a altas frecuencias. Esto puede contribuir a los problemas de aprendizaje o al mal comportamiento en clase (3, 13,19).

Los adultos también presentan efectos sobre el sistema nervioso central con niveles relativamente bajos de plomo en sangre, que se manifiestan en cambios de conducta sutiles, fatiga y problemas de concentración. La exposición crónica genera principalmente lesiones a nivel del sistema nervioso periférico, con manifestaciones sensitivas y motoras, las cuales son mucho más claras y frecuentes en adultos. Se ha descrito neuropatía periférica y disminución en la velocidad de conducción nerviosa en trabajadores del plomo asintomáticos. La neuropatía por plomo se produce por daño de las neuronas motoras del asta anterior de la médula espinal, con degeneración de las terminales axónicas. La parálisis evidente, con caída de la muñeca, se manifiesta como un signo tardío de la intoxicación por plomo (3,4,8,12,21).

#### **2.1.4.6.2.2. Efectos hematológicos**

Algunos signos hematológicos de la intoxicación por plomo pueden simular otras enfermedades o trastornos. Se considera que el plomo puede inducir dos tipos de anemia, a menudo acompañadas con inclusiones basófilas de los eritrocitos jóvenes. Una exposición severa aguda se asocia con anemia hemolítica. En casos de exposición crónica, el plomo produce anemia, porque interfiere con la síntesis del núcleo heme y disminuye el promedio de vida de los eritrocitos. La anemia es hipocrómica y normocítica o microcítica asociada a reticulocitosis. Es importante tener en cuenta que la anemia no es una manifestación inicial de la intoxicación por plomo, esta se manifiesta cuando los niveles de plomo en sangre permanecen significativamente altos durante períodos prolongados (9,3,5,13).

#### **2.1.4.6.2.3. Efectos endocrinos**

Existe una correlación inversa entre los niveles de plomo en sangre y los niveles de vitamina D. Teniendo en cuenta que la vitamina D es responsable en gran parte del mantenimiento de la homeostasis de calcio intra y extracelular, es probable que el plomo impida el crecimiento y la maduración celular y el desarrollo de huesos y dientes (3,13).

#### **2.1.4.6.2.4. Efectos gastrointestinales**

Se produce una alteración de la contractilidad en la musculatura lisa intestinal, la cual produce el típico cuadro gastrointestinal, con dolor tipo cólico, anorexia, vómitos y estreñimiento(7).

#### **2.1.4.6.2.5. Efectos renales**

Un efecto directo de la exposición prolongada al plomo es la nefropatía. La afección se encuentra a nivel de la alteración de la función de los túbulos proximales, se manifiesta como aminoaciduria, glicosuria e hiperfosfaturia (similar al síndrome de Fanconi). También se ha visto una asociación entre la exposición al plomo y la hipertensión, lo cual puede estar mediado por mecanismos renales. Puede desarrollarse gota debido a la hiperuricemia

inducida por plomo, y una disminución selectiva de la excreción fraccional de ácido úrico, la cual precede a la disminución del aclaramiento de creatinina (3,5,13).

#### **2.1.4.6.2.6. Efectos sobre la reproducción y el desarrollo**

Los depósitos maternos de plomo atraviesan la barrera placentaria y representan un riesgo para el feto. Se ha descrito una mayor frecuencia de abortos y muertes fetales en mujeres expuestas a procesos relacionados con el plomo. Es claro que el plomo no sólo afecta a la viabilidad del feto, sino también su desarrollo. Algunas de las consecuencias sobre el desarrollo fetal son, entre otras, un menor peso al nacer y un mayor número de nacimientos prematuros. El plomo es teratógeno en animales; sin embargo, la mayoría de estudios en humanos no han logrado demostrar una relación entre niveles de plomo y malformaciones congénitas. Los efectos del plomo sobre el aparato reproductor masculino en humanos no están bien caracterizados. Pueden existir efectos testiculares, como disminución del recuento y la motilidad espermática (3,9).

#### **2.1.4.6.2.7. Efectos carcinogénicos**

La Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC) ha clasificado al plomo inorgánico y los compuestos de plomo inorgánico en el Grupo 2B como posibles cancerígenos para el hombre. Se ha descrito que las sales solubles, como el acetato y el fosfato de plomo, producen tumores renales en ratas (3,10). Existen pocos estudios que demuestren este efecto en humanos, hasta el momento puede asociarse a cáncer de pulmón, estómago y gliomas (10).

#### **2.1.4.6.2.8. Secuencia de signos y síntomas asociados con la toxicidad del plomo**

La toxicidad leve por exposición al plomo puede producir:

- Mialgias
- Parestesias
- Fatiga leve
- Irritabilidad
- Letargo
- Molestias abdominales ocasionales (3,11)

Los signos y síntomas asociados a una toxicidad moderada son los siguientes:

- Artralgia
- Fatiga general
- Dificultad para concentrarse
- Agotamiento muscular
- Temblor
- Cefalea
- Dolor abdominal difuso
- Vómitos
- Pérdida de peso
- Estreñimiento (3,11)

Los signos y síntomas de toxicidad grave son:

- Paresias o parálisis

- Encefalopatía, que puede producir convulsiones, alteraciones de la conciencia, coma y muerte
- Ribete azul (gris azulado) en las encías, “Ribete de Burton”
- Cólicos (intermitentes o cólicos abdominales graves) (3,11)

Dos enfermedades raras, la porfiria intermitente aguda y la coproporfiria, producen alteraciones similares a las de la intoxicación por plomo. También otros efectos de la intoxicación por plomo pueden dar lugar a confusiones, por ejemplo la neuropatía periférica, o la presencia de síndrome del túnel del carpo. Errores de diagnóstico en cuanto a las molestias gastrointestinales inducidas por plomo han dado lugar a cirugías abdominales inadecuadas (3).

### **2.1.5. Valores límites**

Los valores límite umbral (TLV's) y los índices biológicos de exposición (BEI's) han sido desarrollados como guías para ayudar en el control de los riesgos para la salud y utilizarlas en la práctica de la higiene industrial. A continuación se enumeran los TLV y BEI para plomo.

#### **2.1.5.1. Valores BEI**

Según el Centro de Control y Prevención de Enfermedades (CDC), se considera que los valores normales de plomo en sangre en adultos deben ser  $<20\mu\text{g/dL}$  y en niños  $<10\mu\text{g/dL}$  (1).

Según la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA), en las personas expuestas de manera laboral se considera que los valores de plomo en sangre deben ser  $<40\mu\text{g/dL}$ . Se recomienda tratamiento si tiene síntomas de intoxicación con plomo o si existen niveles  $>60\mu\text{g/dL}$  (1).

#### **2.1.5.2. Valores TLV**

La norma para Plomo de la OSHA define cuál es el Límite de Exposición Permisible (PEL) para el plomo en el lugar de trabajo, así como la frecuencia y alcance de la vigilancia médica y demás responsabilidades del empleador. Se ha establecido que el PEL (ejecutable) para el plomo en el lugar de trabajo de  $50\mu\text{g/m}^3$  promediado sobre una jornada de 8-horas de trabajo, para trabajadores de la industria general (1).

El Instituto Nacional para la Salud y la Seguridad Ocupacional (NIOSH) de los CDC ha establecido un Límite Recomendado de Exposición (REL) de  $50\mu\text{g/m}^3$ . El cumplir con este límite permite que el nivel de plomo en sangre del trabajador sea  $<60\mu\text{g/dL}$  de sangre completa (1).

La Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH) ha establecido un valor umbral límite para un tiempo promedio ponderado (TLV/TWA) de  $50\mu\text{g/m}^3$  de plomo en el aire del lugar de trabajo (1).

## **2.1.6. Vigilancia de la exposición**

### **2.1.6.1. Medición de biomarcadores**

En los casos de intoxicación aguda, si existen sospechas de pica (ingesta de minerales o sustancias no comestibles como arcilla, pintura, etc) o de ingestión accidental de objetos que contengan plomo, debe realizarse una radiografía abdominal.

En caso de sospecha de intoxicación crónica, el análisis de cabello no suele ofrecer una valoración adecuada, pues no se ha encontrado una correlación entre la cantidad de plomo en el cabello y el nivel de exposición. La probabilidad de contaminación ambiental de las muestras de laboratorio con plomo y la preparación poco reproducible de las muestras hace que los resultados del análisis del cabello sean difíciles de interpretar (3).

Las pruebas de laboratorio o biomarcadores recomendados para evaluar la intoxicación por plomo son los siguientes:

#### **2.1.6.1.1. Biomarcadores de exposición específicos:**

##### **2.1.6.1.1.1. Niveles de plomo en sangre**

Es la prueba diagnóstica y de exploración más utilizada para vigilar y detectar la exposición al plomo. Es un reflejo del equilibrio dinámico entre la absorción, la excreción y el depósito en los compartimentos de tejidos blandos y duros. En la exposición crónica, los niveles de plomo en sangre generalmente subestiman la carga corporal total; sin embargo, es la medida de la exposición al plomo más común y ampliamente aceptada. Los niveles de plomo en sangre responden rápidamente a los cambios bruscos o intermitentes en la absorción de plomo (3,11,13).

La OSHA ordena que los trabajadores expuestos a concentraciones en aire de más de 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  por más de 30 días al año, se realicen de manera periódica exámenes para determinar el nivel de plomo en sangre. De encontrarse un trabajador con niveles de plomo en sangre mayores a 40  $\mu\text{g}/\text{dL}$ , éste debe ser notificado por escrito y provisto de una revisión médica. De encontrarse un trabajador con niveles de plomo en sangre de 60  $\mu\text{g}/\text{dL}$  (en un solo examen, o bien si alcanza a tener promedios de 50  $\mu\text{g}/\text{dL}$  o más en tres o más exámenes), su empleador está obligado a remover al trabajador de la exposición excesiva, respetando su paga y su antigüedad, hasta que sus niveles de plomo en sangre estén por debajo de los 40  $\mu\text{g}/\text{dL}$  (1).

##### **2.1.6.1.1.2. Niveles de plomo en orina**

La plumburia se expresa en  $\mu\text{g}/\text{g}$  de creatinina o en  $\mu\text{g}/\text{L}$  de orina de 24 horas. El valor normal es  $< 50 \mu\text{g}/\text{g}$  de creatinina. Es una prueba poco utilizada, debido a las variaciones diuréticas individuales y el riesgo de contaminación externa de la muestra, por efectos ambientales (15).

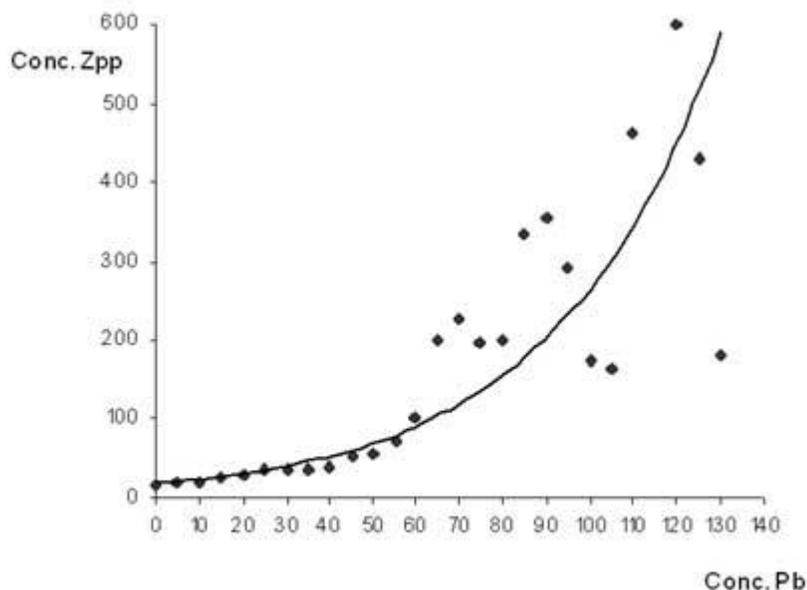
##### **2.1.6.1.1.3. Niveles de plomo en orina tras administración de EDTA monocalcicodisódico**

Es un buen marcador de la exposición crónica a plomo. Se consideran valores aceptables hasta 600  $\mu\text{g}$  en orina de 24 horas (15).

#### 2.1.6.1.1.4. Niveles de protoporfirina zinc eritrocitaria (ZPP)

Es uno de los ensayos más empleados para la exploración de asintomáticos en situación de riesgo. Se toma como valor normal cuando es  $< 60 \mu\text{g/dL}$ . La protoporfirina zinc eritrocitaria se forma cuando el plomo interfiere en la síntesis de globulina en los eritrocitos, bloquea la ferroquelatasa impidiendo la unión del hierro a la protoporfirina IX para formar el grupo hemo, por lo que la protoporfirina IX se une al zinc, y forma la protoporfirina zinc, lo cual incrementa la concentración de esta dentro del glóbulo rojo y disminuye la de hemoglobina (15). Constituye una medida indirecta de la exposición prolongada al plomo. La principal desventaja de utilizar estos niveles como método para la exploración del plomo es que no es sensible a niveles bajos de intoxicación por plomo (6, 15). En la siguiente gráfica se muestra que cuando hay niveles de ZPP por debajo de  $40 \mu\text{g/dL}$ , se encuentran niveles de plomo en sangre inferiores de  $60 \mu\text{g/dL}$ , las cuales ya se consideran tóxicas, como se mencionó anteriormente.

Figura 2. Correlación de plomo y ZPP en sangre (15).



La hiperbilirrubinemia puede producir elevaciones falsas, se encuentra elevada en la anemia ferropénica, la anemia falciforme y otros tipos de anemias hemolíticas, y está notablemente elevada en la protoporfiriaeritropoyética, una enfermedad extremadamente rara(3). Por lo tanto, en el momento del análisis de ZPP, esta medición debe ajustarse al hematocrito del paciente. Es importante tener en cuenta que, la determinación de protoporfirina zinc eritrocitaria en sangre no puede ser usada como única determinación para indagar casos de absorción ocupacional de plomo, ni como un indicador discriminativo, especialmente en aquellos casos donde la absorción es muy baja y reciente. Por lo tanto, no se pueden predecir niveles de plomo en sangre a partir de valores de protoporfirina zinc eritrocitaria. Es importante tener en cuenta que la medida directa de la protoporfirina zinc eritrocitaria puede ser un índice útil y un buen indicador diagnóstico de intoxicación por plomo en trabajadores industriales con exposición a este

metal (6). Por tratarse de una prueba de tamizaje, cuando esta medición se encuentre por encima de los valores normales, debe confirmarse con análisis de plomo en sangre.

#### **2.1.6.1.1.5. Nivel de Actividad de la ácido delta-aminolevulínico deshidratasa (ALA-D)**

La determinación de ALA-D en sangre es aplicable como parámetro complementario del nivel de plomo en sangre, en el estudio de poblaciones expuestas a plomo o sus compuestos iónicos, especialmente para casos en que existen niveles bajos de exposición (plumbemias entre 15 y 35 µg/dL). Esta se correlaciona inversamente con las concentraciones de plomo en sangre. Como factores que pueden influenciar la actividad del ALA-D aparte de la exposición a plomo o sus compuestos iónicos, hay que tener en cuenta los siguientes: el zinc contrarresta el efecto del plomo sobre el ALA-D y la alcoholemia y el metil mercurio inhiben su actividad (3).

#### **2.1.6.1.1.6. Fluorescencia de rayos X**

Mide la exposición acumulada en tejido óseo. El plomo en hueso puede constituir una alternativa como biomarcador de efectos crónicos (15).

#### **2.1.6.1.2. Biomarcadores de efecto no específicos**

##### **2.1.6.1.2.1. Hemograma con frotis periférico**

El hematocrito y los valores de hemoglobina pueden encontrarse moderadamente bajos. El recuento diferencial y el recuento leucocitario total pueden ser normales. El frotis periférico puede ser normocrómico y normocítico o hipocrómico y microcítico. El punteado basófilo generalmente se observa en una intoxicación significativa durante un período prolongado. En algunos casos puede existir eosinofilia (3,11).

##### **2.1.6.1.2.2. BUN, creatinina y análisis de orina**

Estos parámetros revelan únicamente efectos tardíos y significativos del plomo sobre la función renal. La función renal en adultos también puede evaluarse midiendo la excreción fraccionada de ácido úrico (3,13).

#### **2.1.6.2. Control del plomo en el ambiente de trabajo**

En términos generales se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Evaluación del trabajo en que las personas resultan expuestas al plomo
- Información, instrucción y formación
- Medidas de control de los materiales, las instalaciones y los procesos
- Aplicación y mantenimiento de las medidas de control
- Equipos de protección respiratoria y ropa protectora
- Limpieza e instalaciones para la higiene personal
- Separación de las áreas para comer, beber y fumar
- Obligación de evitar la dispersión de la contaminación por plomo
- Control del aire

- Vigilancia médica y controles biológicos
- Creación y actualización de registros (3)

La finalidad de estas precauciones es, prevenir la inhalación e ingestión del plomo. La forma más eficaz de alcanzar estos objetivos es sustituir los compuestos de plomo por sustancias menos tóxicas. Sin embargo en muchos casos en que no es posible evitar el uso del plomo, debe evitarse el polvo de este metal. Se aconseja rociar agua en grandes cantidades para evitar la formación de polvo y su dispersión en el aire. En la fundición de plomo, los minerales y restos pueden tratarse de la misma forma y se puede mantener húmedo el suelo en que se deposita. Cuando el material tratado o el suelo se dejan secar, siempre habrá una fuente potencial de polvo. En algunos casos, se modifican los procesos para que produzcan polvo grueso en lugar de fino. Los trabajadores que están expuestos al plomo deben contar con un equipo de protección individual adecuado, que debe lavarse o cambiarse regularmente. Es ideal el uso de ropa protectora de determinadas fibras sintéticas, ya que retiene menos polvo. Hay que evitar ropa con vueltas, pliegues y bolsillos en donde se pueda acumular el polvo. Se debe disponer de instalaciones sanitarias con duchas de agua caliente, que deberán utilizarse. Se recomienda que los trabajadores tengan el tiempo necesario para lavarse antes de comer y debe estar prohibido comer y fumar en las proximidades de las áreas en que se procesa el plomo. La limpieza de los sitios en donde se procesa el plomo es esencial y debe realizarse continuamente, por un proceso en húmedo o con aspiradores. Cuando sea necesario se debe contar con un equipo de protección respiratoria adecuadamente mantenido, el cual debe revisarse para garantizar su limpieza y eficacia (3).

## 2.2. Proceso de fundición

En la producción y afino de metales, una serie de reacciones fisico-químicas distintas separan los componentes valiosos de las materias inservibles. El producto final es un metal que contiene cantidades controladas de impurezas. La fundición y afino primarios producen metales directamente a partir de concentrados de mineral, mientras que la fundición y afino secundarios los producen a partir de chatarra y residuos de proceso. Aquí se puede incluir también la actividad de interés para este estudio, que es el reciclaje que involucra dentro de esta labor la posterior fundición de baterías. La chatarra está formada por fragmentos y piezas de componentes metálicos, barras, virutas de torno, chapas y alambre que están fuera de especificación o desgastados pero pueden reciclarse. El metal a extraer luego de la fundición de baterías es el plomo. Para esta obtención se utilizan procesos *pirometalúrgicos*, es decir, que aprovechan las diferencias entre potenciales de oxidación, puntos de fusión, presiones de vapor, densidad y/o miscibilidad de los componentes del material cuando se funde, para lo cual se requieren altas temperaturas (3).

Quizá, uno de los elementos más frecuentemente utilizados como fuente secundaria de plomo proviene de las baterías. Una batería de plomo suministra energía a través de las reacciones químicas de oxidación de plomo metálico a sulfato de plomo que ocurre en el ánodo y la reducción de óxido de plomo a sulfato de plomo que ocurre en el cátodo, utilizando un conductor iónico al que se le denomina electrolito. Mientras la batería se descarga se forma sulfato de plomo en ambos electrodos, cuando se recarga se invierten las

reacciones y el sulfato de plomo se transforma nuevamente en plomo y óxido de plomo. El electrolito es una solución de ácido sulfúrico diluida al 36% (400 g de ácido sulfúrico por litro de agua destilada) (2).

Los componentes principales de una batería de plomo son:

Las placas positivas (que son láminas de plomo metálico) y las placas negativas (que son rejillas de plomo metálico recubiertas por una pasta de óxido de plomo). La reacción química que ocurre cuando interviene sólo un par de placas produce un potencial de 2V. Si se conectan varios pares de placas en serie el voltaje total del acumulador aumenta (en el caso de una batería de automóvil se conectan 6 pares en serie, produciendo un voltaje de 12V). Las placas se colocan consecutivamente y aisladas entre sí por separadores constituidos generalmente son fundas de polietileno y algunas de PVC (2).

El contenedor o caja es generalmente de polipropileno y en algunos casos de ebonita (caucho endurecido) (2).

El electrolito, constituido por ácido sulfúrico diluido (2).

La composición en peso promedio de los componentes de una batería de plomo nueva y una batería agotada se mantiene. En la siguiente tabla se presentan los porcentajes típicos de los componentes de una batería.

Tabla No. 1. Composición de una Batería (2).

<b>COMPOSICION DE PESO DE UNA BATERIA NUEVA O AGOTADA</b>
65-75% de Plomo (Pb, PbO <sub>2</sub> , PbSO <sub>4</sub> )
12-25% Electrolito
5% Separadores de plástico
5% Caja de plástico

El agotamiento de la batería se produce debido a que las placas se contaminan cada vez más con sulfato de plomo durante la descarga. Esto tiene como consecuencia la inhibición de las reacciones químicas que ocurren en las placas de óxido de plomo, impidiendo una nueva recarga. De esta forma el acumulador queda agotado, transformándose en un residuo (2).

### 3. Metodología

#### 3.1. Tipo de estudio

Estudio Descriptivo de Prevalencia de corte transversal. Este permite conocer la presencia de alteraciones neurológicas en trabajadores laboralmente expuestos en procesos de fundición, manipulación y recuperación de metales, además de determinar los niveles de protoporfirina zinc eritrocitaria como biomarcador de exposición crónica a plomo, en la población de estudio.

#### 3.2. Área geográfica

Municipio de Soacha, Cundinamarca, Colombia.

#### 3.3. Universo de estudio y muestra

##### 3.3.1. Universo:

Se consideró estudiar a un universo de 138 trabajadores distribuidos en 14 empresas constituidas legalmente, según la información obtenida de la Secretaría de Salud de Soacha. A continuación se enumeran las empresas, se muestra su ubicación en el municipio, se describe su actividad principal y se muestra el número de trabajadores en cada empresa, según la base de datos.

Tabla No. 2. Empresas Manipuladoras de Metales en Soacha, Cundinamarca.

No.	BARRIO	DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD	Trabajadores
1	Divino Niño	Reciclaje de Baterías	6
2	León XIII	Fundición de metales reciclados	10
3	Santa Ana	Laminado de Hierro	5
4	Vereda Panamá	Recuperación de Aluminio	12
5	León XIII	Fabricación de láminas en acrílico	15
6	Vereda Panamá	Fundición de Plomo	4
7	Vereda Panamá	Fundición y recuperación de metales no ferrosos	38
8	Santa Ana	Mezcla de Minerales	6
9	Divino Niño	Reciclaje y fundición de placas, baterías y plomados	8
10	Vereda Panamá	Fundición de Plomo	5

<b>11</b>	Vereda Panamá	Procesadora de cobre	10
<b>12</b>	Cazucá	Producción de Oxido, Zinc y Aleaciones no Ferrosas	9
<b>13</b>	Santa Ana	Fundición y procesamiento de metales ferrosos	5
<b>14</b>	Santa Ana	Producción de varillas y recuperación de metales	5
		<b>Total</b>	<b>138</b>

Por tratarse de una población pequeña, se tomó la decisión de analizar a la totalidad de la población para disminuir la posibilidad de error. Sin embargo, a continuación se muestra el cálculo de la muestra para esta población, como parte del diseño de un estudio de esta clase.

### 3.3.2. Cálculo de la muestra

Prevalencia de efectos neurotóxicos en trabajadores expuestos: 7 %. Esta prevalencia tomada para este cálculo es un valor promedio de diferentes prevalencias de alteraciones neurológicas en la exposición a metales, ya que existe una amplia variación entre estudios (9,3,6,12,19).

Nivel de confianza: 95%

Máximo error esperado: 3%

Porcentaje estimado de pérdidas: 10%

Cálculo de la muestra para población infinita:

$$n_0 = \frac{pq * z^2}{e^2}$$

$$n_0 = \frac{93 * 7 * 1.96z^2}{3^2}$$

$$n_0 = 277$$

Ajustado a la población en estudio:

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}}$$

$$n = \frac{277}{1 + \frac{277}{138}}$$

$$n = 92,11 + 10\%$$

$$n = 101,3$$

El error relativo calculado para este estudio fue:

$$e.r = \frac{e}{p} * 100$$

$$e.r = \frac{3}{7} * 100$$

$$e.r = 42,9\%$$

### **3.4. Criterios de inclusión y de exclusión**

#### **3.4.1. Criterios de inclusión**

- Deseo de participación voluntaria y autónoma en el estudio, mediante firma del Consentimiento Informado de Participación.
- Edad entre 15 y 65 años.

#### **3.4.2. Criterios de exclusión**

- Patología neurológica, psiquiátrica, auditiva o del habla que impida la comprensión y la comunicación adecuada con otros individuos.
- Enfermedad neurológica o psiquiátrica de tipo permanente que pueda alterar el examen neurológico, que haya sido diagnosticada en un tiempo menor al de dos años de estar laborando continuamente en el proceso.
- Antecedente de trauma craneoencefálico.
- Analfabetismo, dada la dificultad para la aceptación del Consentimiento Informado y el desarrollo de pruebas.
- Alcoholismo crónico o adicción a sustancias psicoactivas.
- Tratamiento actual con psicofármacos.

### **3.5. Variables**

#### **3.5.1. Variable dependiente**

Alteraciones tóxicas por exposición a plomo sobre el sistema nervioso central y periférico.

#### **3.5.2. Variables independientes**

Área de trabajo en donde se desempeña, tiempo que lleva trabajando, niveles de ZPP en muestras de sangre.

### **3.5.3. Variables de exposición**

Tiempo que lleva laborando.

## **3.6. Materiales, procedimientos y métodos**

Como instrumentos de investigación se emplearon:

### **3.6.1. Niveles de ZPP**

Prueba de laboratorio que cuantifica la protoporfirina zinc eritrocitaria mediante hematofluorometría.

### **3.6.2. Historia clínica toxicológica**

Se obtuvieron datos de identificación y variables sociodemográficas. Se exploraron antecedentes clínicos generales, haciendo énfasis en la presencia de patologías clínicas neurológicas y psiquiátricas. Se indagó sobre la presencia de hábitos y costumbres como consumo de bebidas alcohólicas, cigarrillo u otras sustancias. Se buscó también la presencia de síntomas a nivel neurológico que puedan tener relación con la intoxicación crónica por plomo.

### **3.6.3. Examen clínico**

Examen físico completo, enfatizando en presencia de hallazgos a nivel del sistema nervioso. En este punto se evaluaron los siguientes aspectos:

- ✓ Evaluación de la Marcha
- ✓ Equilibrio
- ✓ Pruebas de Coordinación
- ✓ Nervios Periféricos
  - Evaluación Motora
  - Evaluación Sensitiva
  - Reflejos Osteotendinosos
- ✓ Presencia de Temblor y Movimientos Anormales
- ✓ Arcos de Movimiento Articular
- ✓ Tono Muscular
- ✓ Fuerza Muscular

Este examen se basó en las técnicas clínicas para el examen físico neurológico, realizado por Pedro Luis Rodríguez-García, del Servicio de Neurología, Servicio de Medicina Interna, Hospital General, Docente Dr Ernesto Guevara de la Serna, Servicio de Pediatría, Hospital Pediátrico Mártires de las Tunas, Cuba (16,17,18).

### **3.6.4. Test Minimental**

Prueba que permite la evaluación del grado de deterioro cognitivo en una persona.

### **3.7. Recolección y procesamiento de datos**

Los datos se recolectaron en formatos diseñados para la historia clínica, el examen clínico, los resultados del test Minimental y los resultados del análisis de laboratorio. Los formatos diligenciados fueron los siguientes:

- Consentimiento Informado (Anexo 1)
- Reporte de Niveles de Protoporfirina Zinc Eritrocitaria (Anexo 2)
- Historia Clínica Toxicológica y Examen Físico Neurológico (Anexo 3)
- Test Minimental (Anexo 4)
- Formato de entrega de resultados (Anexo 5)

### **3.8. Análisis estadístico**

Se realizó un análisis univariado donde se utilizó estadística descriptiva.

## 4. Presupuesto

El presente trabajo fue financiado en casi su totalidad por la Universidad Nacional de Colombia, Dirección de Investigaciones sede Bogotá, mediante participación a la convocatoria Apoyo a Tesis de Posgrado. Se contó también con presupuesto de la Maestría en Toxicología y de la Secretaría de Salud de Soacha.

Tabla No. 3. Plan de Gastos y Distribución del Presupuesto

RUBRO	DESCRIPCION	VALOR TOTAL	PARTIDA SECRETARIA DE SALUD DE SOACHA	PARTIDA MAESTRIA EN TOXICOLOGIA	CONTRAPARTIDA DIB UNIVERSIDAD NACIONAL
Software	Procesamiento y análisis de datos.	1.000.000		1.000.000	
Equipos	Computadores.	1.000.000		1.000.000	
Gastos de personal	Remuneración por servicios técnicos. Auxiliar de enfermería.	8.840.000	600.000		8.240.000
Salidas de campo	Desplazamientos a la población de Soacha para la evaluación médica toxicológica y neurológica. Toma de muestras de sangre.	222.000	72.000		150.000
Materiales	Materiales bioclínicos, materiales desechables para la recolección de muestras, patrones, reactivos, gases.	900.000		400.000	500.000
<b>Impresos y Publicaciones</b>	Material para imprimir documentos: papelería, tintas, empastes.	1.110.000			1.110.000
<b>TOTALES</b>		<b>13.072.000</b>	<b>672.000</b>	<b>2.400.000</b>	<b>10.000.000</b>



## 6. Ejecución del trabajo de campo

Para la selección de la población de estudio, se contó con información suministrada por parte de la División de Ambiente de la Secretaría de Salud de Soacha, quienes proporcionaron una base de datos de empresas legalmente constituidas, las cuales tienen como actividad económica la fundición, manipulación y recuperación de metales, principalmente plomo (Ver tabla 2).

Una vez se tuvo la ubicación de cada empresa se realizó una visita a cada una, presentando de manera formal y por escrito el proyecto de tesis ante el representante legal, haciendo claridad sobre los aspectos éticos y el respeto al anonimato de la empresa en el presente trabajo. Luego se esperó la respuesta sobre la decisión en cuanto a la participación de cada empresa en el trabajo. Una vez se tenía la respuesta de la empresa se procedió a realizar una segunda visita a cada empresa, en donde se le explicó a las personas en que consistía el estudio, cual era su finalidad, quienes eran los responsables de este, aclarando las dudas que surgían e informando cómo podían obtener más información si era necesario. A continuación se les hacía entrega del consentimiento informado para que lo leyeran detenidamente y se despejaban interrogantes de manera personal si era necesario, para su posterior firma. En esta visita se procedió a la toma de una muestra de sangre para cuantificación de ZPP. Estas muestras eran marcadas con un código y almacenadas en cadena de frío para evitar su deterioro. Una vez se contó con el total de las muestras, estas fueron llevadas al Grupo Salud Ambiental, Programa de Metales y No Metales en Fluidos Biológicos del Instituto Nacional de Salud, para realizar el análisis respectivo, cuantificación de ZPP mediante hematofluorometría. En este laboratorio ellos asignaron su propio código a las muestras.

En una tercera visita, se realizaron las Historias Clínicas y Toxicológicas a las personas que aceptaron participar en el estudio, asignándole el mismo código dado en las muestras de sangre a cada historia. El interrogatorio iba dirigido a antecedentes y hábitos personales, además de buscar síntomas neurológicos. Luego se realizó el examen clínico minucioso, enfatizando en la exploración neurológica.

A partir de la información obtenida se elaboró una base de datos. Se digitaron los resultados obtenidos y se procedió al respectivo análisis estadístico univariado.

Finalmente se redactó el documento definitivo, dando a conocer los resultados, su interpretación, análisis, conclusiones y recomendaciones.

## **7. Consideraciones éticas del estudio**

El presente estudio implicó la toma de consideraciones éticas, puesto que se trabajó directamente con personas, de tal manera que prevalece el respeto a la dignidad y la protección de los derechos y el bienestar de los participantes en este estudio. La normatividad sobre ética en investigación en salud se contempla en la Resolución 8430 de 1993. Para esta investigación se tuvieron en cuenta los siguientes criterios, contemplados en la resolución 8430 de 1993:

También es importante tener en cuenta, que según lo dispuesto en la ley, se protege la intimidad y derecho a la privacidad de cada participante de este estudio, identificándolo solo cuando los resultados lo requieran y éste lo autorice.

El diseño de este estudio se clasifica como Investigación con Riesgo Mínimo, según lo estipulado en la resolución 8430 de 1993.

### **7.1. Propiedad intelectual**

La propiedad intelectual de los resultados del presente estudio se enmarcan dentro de lo definido en el acuerdo número 035 de 2003, acta número 08 del 03 de diciembre de 2003 del Consejo Académico.

### **7.2. Declaración de conflictos de interés**

Se declara **NO** tener ningún conflicto de Interés que afecte el normal desenvolvimiento del estudio.

## 8. Presentación de resultados

### 8.1. Perfil de la población

Luego de presentar formalmente el proyecto a cada una de las 14 empresas, solo 8 de ellas aceptaron participar en el estudio, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla No. 5. Listado de Empresas Participantes en el Trabajo

No. Empresa	No.Trabajadores	Aceptación participación	Total trabajadores disponibles	Trabajadores perdidos
1(*)	6	NO	0	6
2	10	SI	10	0
3	5	SI	5	0
4(**)	12	NO	0	12
5	15	SI	15	0
6	4	SI	4	0
7	38	SI	38	0
8(***)	6	NO	0	6
9(*)	8	NO	0	8
10	5	SI	5	0
11	10	SI	10	0
12(***)	9	NO	0	9
13	5	SI	5	0
14(***)	5	NO	0	5
<b>Totales</b>	138		92	46

(\*) Empresas que no participaron por ser recicladores de baterías y manifestaron tener temor en cuanto a que se tomaran medidas contra ellos, como cierre de la empresa.

(\*\*) Empresa que no se encontró, según la dirección dada.

(\*\*\*) Empresa que demostró no tener plomo en sus procesos, puesto que analizan cada una de sus materias primas.

(\*\*\*\*) Empresas que manifestaron no estar interesadas en participar ya que señalan realizar controles periódicos a sus trabajadores y no necesitar evaluaciones adicionales.

Una vez se presentó el estudio a los trabajadores, algunos decidieron no participar en el estudio por diferentes razones. En total se realizó el examen clínico con énfasis en la

búsqueda de alteraciones neurológicas y medición de ZPP en sangre a 68 personas, las cuales se distribuyeron en las diferentes empresas participantes tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla No. 6. Empresas Participantes en el Trabajo y No. de Trabajadores Disponibles

No. Empresa	Total Trabajadores Disponibles	Total Trabajadores Participantes
2	10	4
3	5	9
5	15	5
6	4	4
7	38	34
10	5	3
11	10	7
13	5	2
<b>Totales</b>	92	68

### 8.1.1. Distribución por edad

La distribución por edad mostró un promedio de edad para la población de estudio de 37,9 años con una desviación estándar de 10,85 años y una mediana de 35, con un rango de edades entre 22 y 72 años de edad.

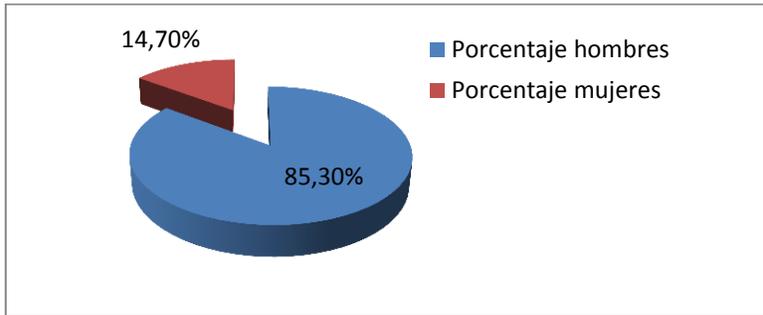
### 8.1.2. Distribución por género

La población de la muestra se distribuyó por género encontrando un 14.7% de mujeres y un 85.3% de hombres, de la siguiente manera:

Tabla No. 7. Distribución por Género

Género	Frecuencia	Porcentaje
Femenino	10	14.7%
Masculino	58	85.3%
Total	68	100%

Figura No. 4. Distribución por Género



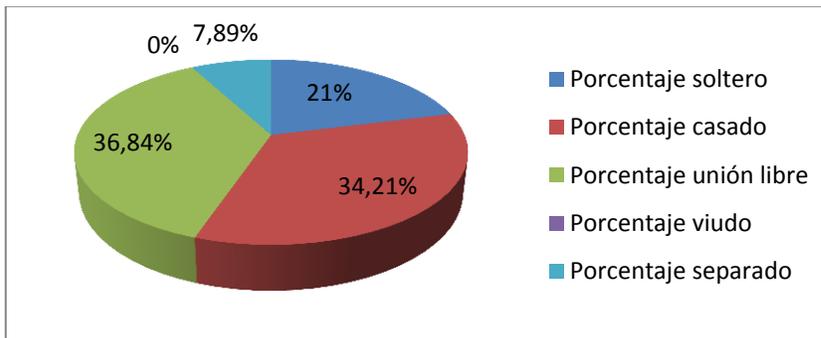
### 8.1.3. Distribución por estado civil

Se encuentra que la mayoría de la población estudiada vive en unión libre, con un 36,84% seguida de la población casada con un 34,21%. Luego continua en frecuencia la población soltera con el 21% y finaliza la población separada con el 7,89%.

Tabla No. 8. Distribución por Estado Civil

ESTADO CIVIL	Porcentaje
Porcentaje soltero	21%
Porcentaje casado	34,21%
Porcentaje unión libre	36,84%
Porcentaje viudo	0%
Porcentaje separado	7,89%

Figura No. 5. Distribución por Estado Civil



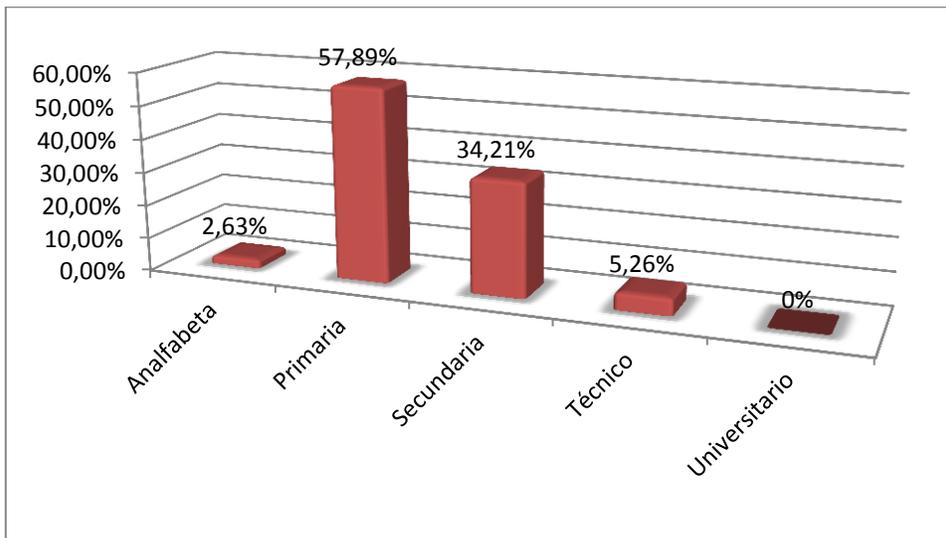
### 8.1.4. Distribución por Nivel Educativo

En cuanto al nivel educativo se encontró que el 57,89% de la población tiene nivel de primaria, el 34,21% de la población alcanzó educación secundaria, solo el 5,26% tiene educación técnica y no se encontró ninguno con nivel profesional.

Tabla No. 9. Distribución por Nivel Educativo

Nivel Educativo	Porcentaje
Porcentaje analfabeta	2,63%
Porcentaje primaria	57,89%
Porcentaje secundario	34,21%
Porcentaje técnico	5,26%
Porcentaje universitario	0%

Figura No. 6. Distribución por Nivel Educativo



## 8.2. Perfil Demográfico

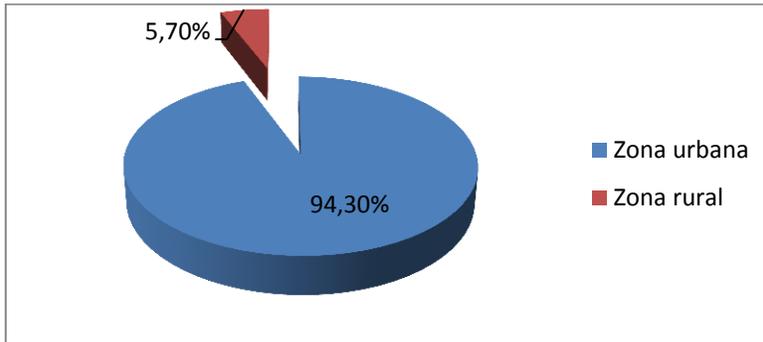
### 8.2.1. Distribución Según Tipo de Residencia

Del total de individuos examinados el 94,30% viven en zona urbana y solo el 5,70% en zona rural.

Tabla No. 10. Distribución Según Tipo de Residencia

UBICACIÓN DE RESIDENCIA	Porcentaje
Zona urbana	94,30%
Zona rural	5,70%

Figura No. 7. Distribución Según Tipo de Residencia



### 8.3. Variables ocupacionales en la población de estudio

#### 8.3.1. Tiempo y cargo desempeñado

La población de estudio se desempeña directamente en las empresas manipuladoras de metales. Se encontró que en promedio llevan trabajando 9 años en la empresa actual, con una desviación estándar de 8,83 años y una mediana de 4 años. El rango de tiempo que llevan trabajando se encuentra entre 2 meses y 27 años. A continuación se describen los diferentes oficios que desempeñan en las empresas:

Tabla No. 11. Distribución Según el Cargo Desempeñado

OFICIO DESEMPEÑADO	Porcentaje
Operario de planta	64%
Soldador	4%
Fundidor	4%
Coordinador de planta	4%
Vigilante	4%
Oficios generales	8%
Supervisor	4%
Mantenimiento de equipos	4%
Formador	4%

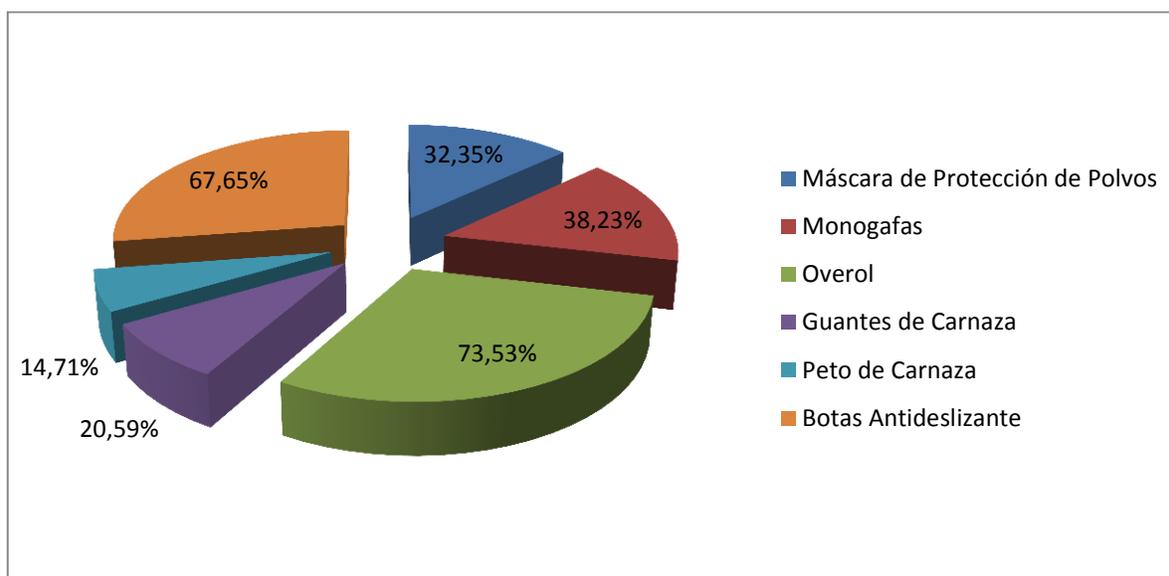
#### 8.3.2. Uso de elementos de protección personal

En cuanto al uso de elementos de protección personal se encontró que los más utilizados corresponden al uso de overol (73,53%) y botas antideslizantes (67,65%). Se encontró que los demás elementos de protección personal son utilizados en menor proporción, uso de monogafas (38,23%), máscara de protección de polvos (32,35%), guantes de carnaza (20,59%) y peto de carnaza (14,71%).

Tabla No. 12. Frecuencia de Uso de Elementos de Protección Personal

Uso de Elementos de Protección Personal	Porcentaje	Frecuencia
Máscara de Protección de Polvos	32,35%	22
Monogafas	38,23%	26
Overol	73,53%	50
Guantes de Carnaza	20,59%	14
Peto de Carnaza	14,71%	10
Botas Antideslizante	67,65%	46

Figura No. 8. Frecuencia de Uso de Elementos de Protección Personal



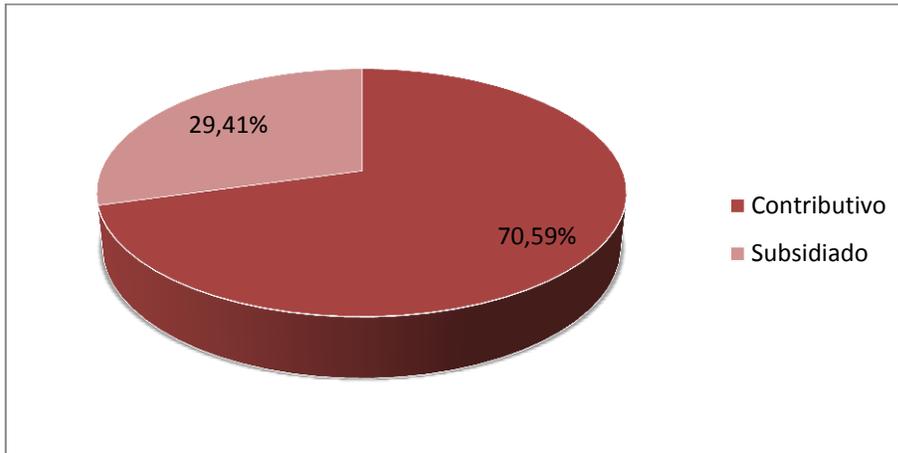
### 8.3.3. Afiliación al sistema general de seguridad social

Se encontró que el 70,59% de los trabajadores están afiliados al régimen contributivo, mientras que el 29,41% se encuentran en el régimen subsidiado. También se encontró que 40 de los evaluados están afiliados a una Administradora de Riesgos Profesionales, es decir el 58,82%.

Tabla No. 13. Tipo de Afiliación al Sistema de Seguridad Social

Tipo de Afiliación al SGSS	Porcentaje	Frecuencia
Contributivo	70,59%	48
Subsidiado	29,41%	20

Figura No. 9. Tipo de Afiliación al Sistema de Seguridad Social



## 8.4. Hábitos tóxicos relacionados

### 8.4.1. Tabaquismo

El 39,71% de la población estudiada aceptó ser consumidor habitual de cigarrillo. De los 68 trabajadores, 27 son o fueron fumadores. De ellos, 3 ya han dejado de fumar y 11 reconocen ser fumadores sociales. Los consumidores habituales fuman en promedio 4,5 cigarrillos día, con un rango entre 1 y 12 cigarrillos día.

Tabla No. 14. Frecuencia de Fumadores

	Porcentaje	Frecuencia
Fumadores	39,71%	27
No fumadores	60,29%	41
<b>TOTAL</b>	100%	68

Figura No. 10. Frecuencia de Fumadores

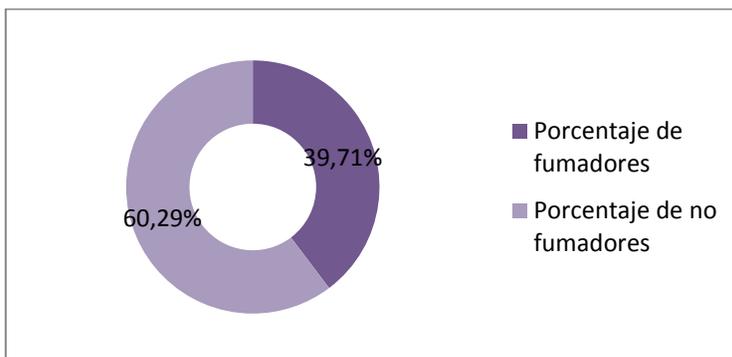
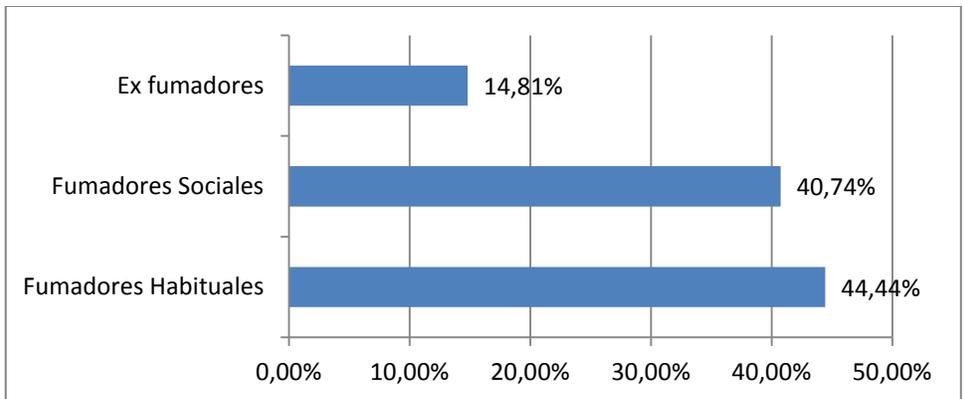


Tabla No. 15. Distribución de Fumadores

<b>Distribución Fumadores</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>
<b>Fumadores Habituales</b>	12	44,44%
<b>Fumadores Sociales</b>	11	40,74%
<b>Ex fumadores</b>	4	14,81%
	27	99,99%

Figura No. 11. Distribución de Fumadores



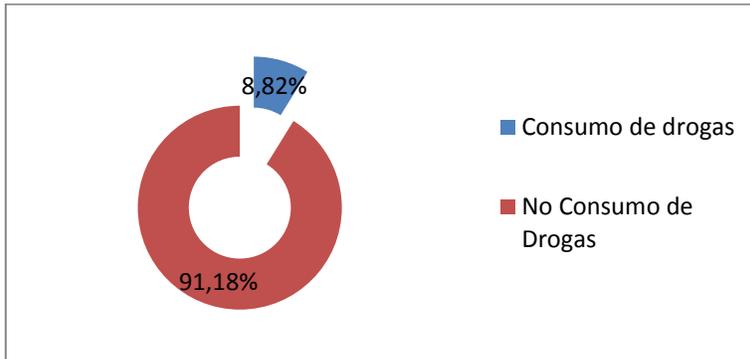
### 8.4.2. Consumo de drogas

De los 68 trabajadores, 6 aceptaron ser o haber sido consumidores de drogas, representando el 8,82% de la población de estudio. De ellos, 5 han sido consumidores de marihuana, 2 de perico (cocaína sal rebajada), 1 de cocaína, 1 de bazuco (cocaína mezclada con harina, carbonatos, lactosa, talco miga de pan, ladrillo, etc) y 1 de pegante.

Tabla No. 16. Distribución de Consumidores de Drogas

Consumidores de drogas	8,82%
No consumidores de drogas	91,18%

Figura No. 12. Distribución de Consumidores de Drogas



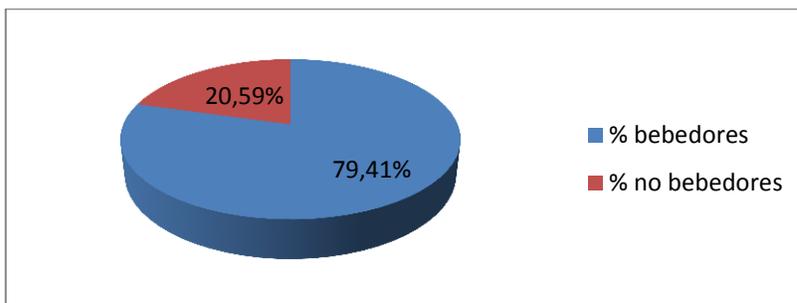
### 8.4.3. Consumo de bebidas alcohólicas

En la población de trabajadores estudiada se encontró que 54 de ellos, es decir, el 79,41% de ellos tienen algún grado de consumo de bebidas alcohólicas.

Tabla No. 17. Porcentaje de Consumo de Bebidas Alcohólicas

Consumo de Alcohol	Porcentaje	Frecuencia
Si	79,41%	54
No	20,59%	14

Figura No. 13. Porcentaje de Consumo de Bebidas Alcohólicas

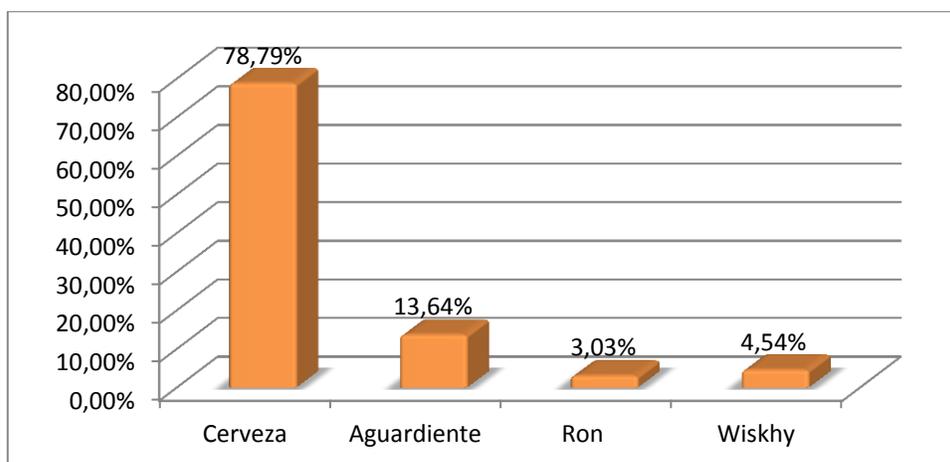


También se puede establecer que de los 54 consumidores de bebidas alcohólicas, 43 consumen un solo tipo de bebida, siendo la cerveza la principal, 10 consumen dos tipos de bebidas y uno consume tres tipos de bebidas. La distribución del tipo de bebidas alcohólicas se muestra a continuación:

Tabla No. 18. Tipo de Bebida Alcohólica

Tipo de Bebida	Frecuencia	Porcentaje
Cerveza	52	78,79%
Aguardiente	9	13,64%
Ron	2	3,03%
Wisky	3	4,54%

Figura No. 14. Tipo de Bebida Alcohólica

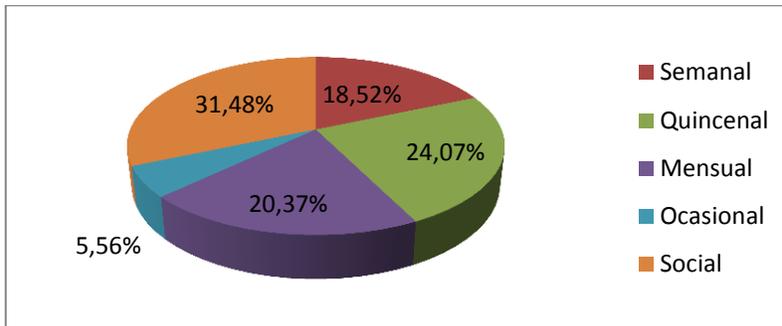


Se encuentra que la mayoría de los entrevistados son bebedores sociales, con el 31,48%, seguido de quienes consumen bebidas alcohólicas quincenalmente con el 24,07%, a continuación quienes consumen bebidas alcohólicas mensualmente, con el 20,37% y quienes consumen semanalmente con el 18,52%. En menor proporción se encuentran quienes dicen consumir bebidas alcohólicas ocasionalmente con el 5,56% y no se encontraron personas que consuman a diario o varias veces a la semana.

Tabla No. 19. Frecuencia de Consumo de Bebidas Alcohólicas

	Frecuencia	Porcentaje
A Diario	0	0%
Semanal	10	18,52%
Quincenal	13	24,07%
Mensual	11	20,37%
Ocasional	3	5,56%
Social	17	31,48%
	<b>54</b>	<b>100%</b>

Figura No. 15. Frecuencia de Consumo de Bebidas Alcohólicas



## 8.5. Antecedentes médicos personales

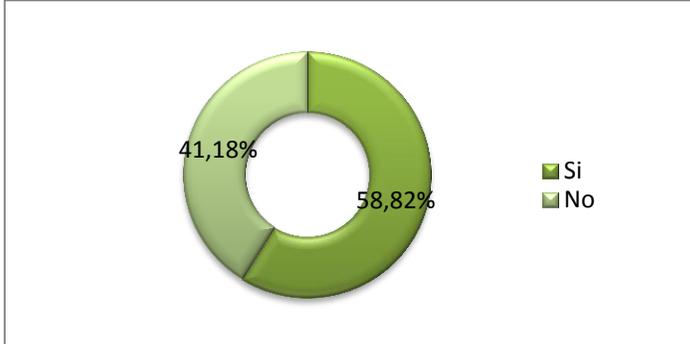
### 8.5.1. Hospitalizaciones

De los 68 trabajadores entrevistados, 40 han requerido hospitalizaciones por diferentes motivos, representando el 58,82%.

Tabla No. 20. Frecuencia de Hospitalizaciones

Hospitalizaciones	Porcentaje	Frecuencia
Si	58,82%	40
No	41,18%	28

Figura No. 16. Frecuencia de Hospitalizaciones

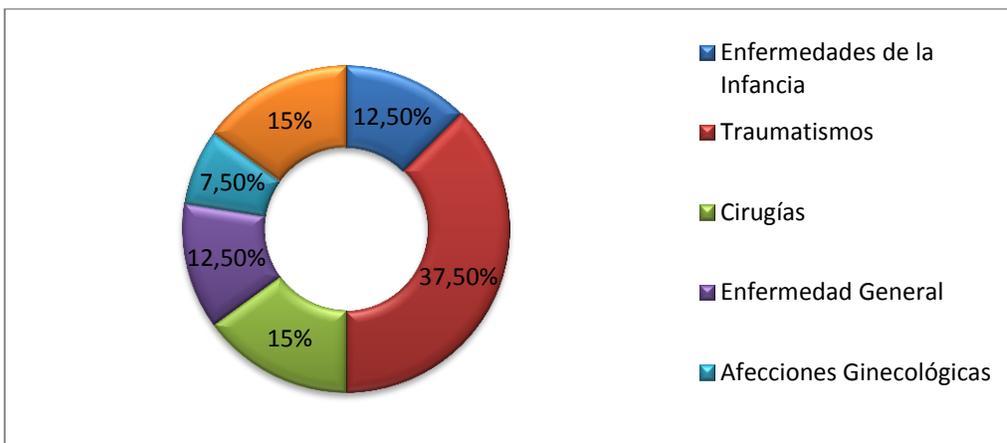


A continuación se muestran de manera general las causas de hospitalizaciones:

Tabla No. 21. Distribución de Causas de Hospitalizaciones

CAUSAS	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Enfermedades de la Infancia	5	12,50%
Traumatismos	15	37,50%
Cirugías	6	15%
Enfermedad General	5	12,50%
Afecciones Ginecológicas	3	7,50%
Intoxicaciones	6	15%

Figura No. 17. Distribución de Causas de Hospitalizaciones



Se observa que 6 personas han requerido hospitalización por intoxicaciones. De ellos, 5 han sufrido intoxicación por plomo y estuvieron hospitalizados para tratamiento; el otro caso fue por intoxicación alimentaria.

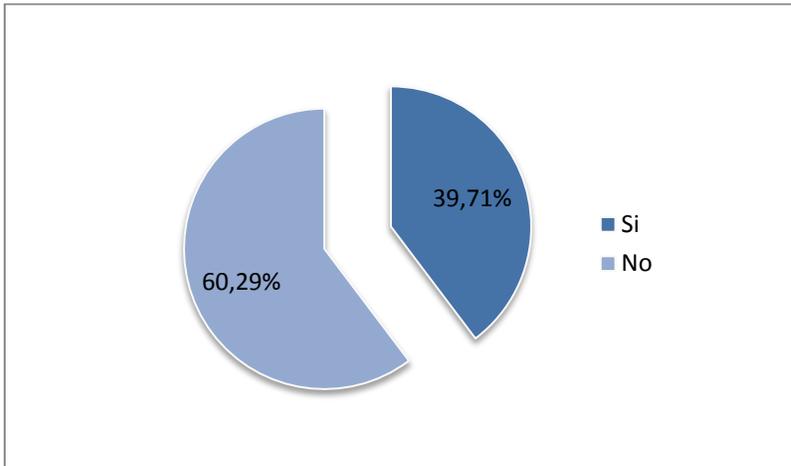
### 8.5.2. Cirugías

En la población de estudio se encontró que el 39,71% ha requerido algún tipo de procedimiento quirúrgico.

Tabla No. 22. Frecuencia de Cirugías

Cirugías	Frecuencia	Porcentaje
Si	27	39,71%
No	41	60,29%

Figura No. 18. Frecuencia de Cirugías



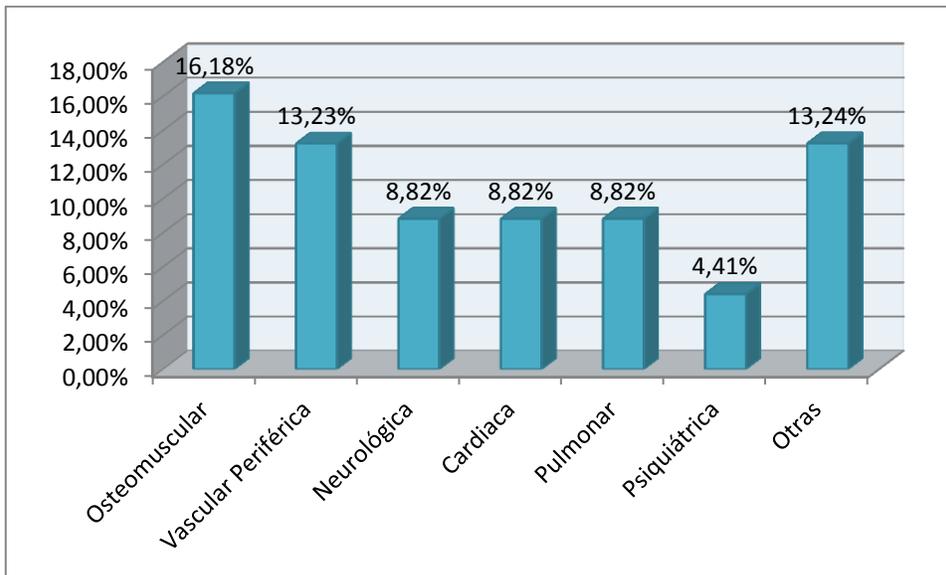
### 8.5.3. Antecedentes patológicos

En los 68 trabajadores se encontró la presencia de algunas patologías que pueden agruparse según el sistema afectado. Se observa que las más frecuentes corresponden a patologías osteomusculares, con el 16,18%, seguido de las alteraciones a nivel vascular periférico con el 13,23%. A continuación se encuentran con el mismo porcentaje, las patologías neurológicas, cardíacas y pulmonares, con el 8,82% cada una. Finalmente las alteraciones psiquiátricas con el 4,41% y otras enfermedades en general suman el 13,24%.

Tabla No. 23. Distribución de Patologías

Tipo de Patología	Porcentaje	Frecuencia
Osteomuscular	16,18%	11
Vascular Periférica	13,23%	9
Neurológica	8,82%	6
Cardiaca	8,82%	6
Pulmonar	8,82%	6
Psiquiátrica	4,41%	3
Otras	13,24%	9

Figura No. 19. Distribución de Patologías



## 8.6. Síntomas neurológicos

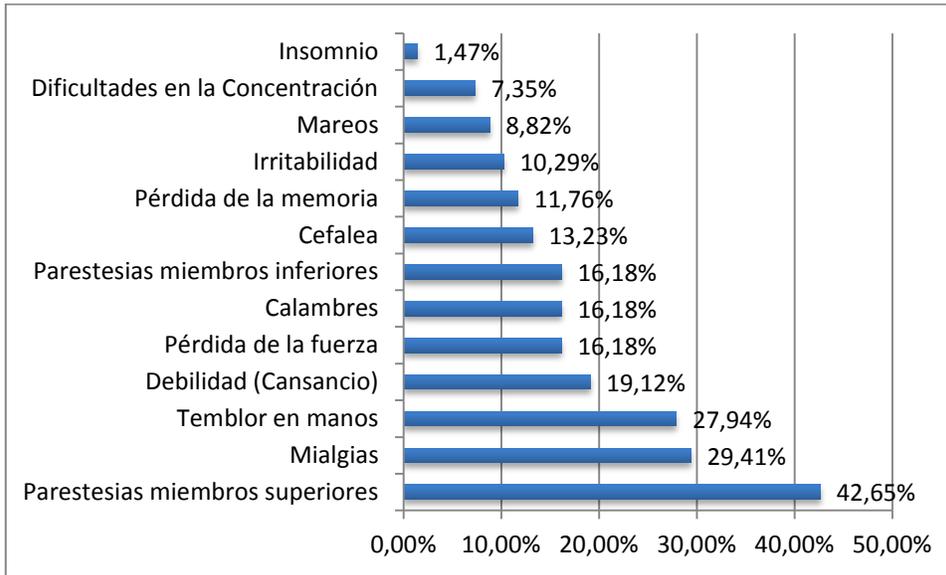
De los 68 trabajadores de la población de estudio, se encontró que 53 de ellos, es decir el 77,94%, reportaron síntomas neurológicos, mientras que los 15 restantes, correspondientes a 22,06%, dicen no tener ningún síntoma. Se encuentra que los síntomas principales corresponden en orden descendente a parestesias en miembros superiores (42,65%), mialgias (29,41%) y temblor en manos (27,94%). En menor proporción se encuentran la presencia de debilidad (19,12%), pérdida de la fuerza (16,18%), calambres (16,18%), parestesias de miembros inferiores (16,18%), cefalea (13,23%), pérdida de la memoria

(11,76%), irritabilidad (10,29%), mareos (8,82%), dificultades en la concentración (7,35%) e insomnio (1,47%).

Tabla No. 24. Frecuencia de Síntomas Neurológicos

SINTOMAS	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Parestesias miembros superiores	29	42,65%
Mialgias	20	29,41%
Temblor en manos	19	27,94%
Debilidad (Cansancio)	13	19,12%
Pérdida de la fuerza	11	16,18%
Calambres	11	16,18%
Parestesias miembros inferiores	11	16,18%
Cefalea	9	13,23%
Pérdida de la memoria	8	11,76%
Irritabilidad	7	10,29%
Mareos	6	8,82%
Dificultades en la Concentración	5	7,35%
Insomnio	1	1,47%

Figura No. 20. Distribución de Síntomas Neurológicos



## 8.7. Niveles De ZPP

En cuanto a los niveles de ZPP en sangre, se encontró que en el 61,19% de la población estudiada se reportó niveles por encima del valor de referencia (60  $\mu\text{g}/\text{dL}$ ), mientras que en el 38,81% restante, los niveles se consideran normales. El promedio de los niveles de ZPP es de 130,09  $\mu\text{g}/\text{dL}$ , con un rango entre 11 y 456  $\mu\text{g}/\text{dL}$ . La desviación estándar es de 115,97  $\mu\text{g}/\text{dL}$  y la mediana es 93  $\mu\text{g}/\text{dL}$ .

Tabla No. 25. Niveles ZPP

Niveles ZPP	Porcentaje
Normal (< 60 $\mu\text{g}/\text{dL}$ )	38,81%
Anormal ( $\geq$ 60 $\mu\text{g}/\text{dL}$ )	61,19%

Figura No. 21. Niveles ZPP

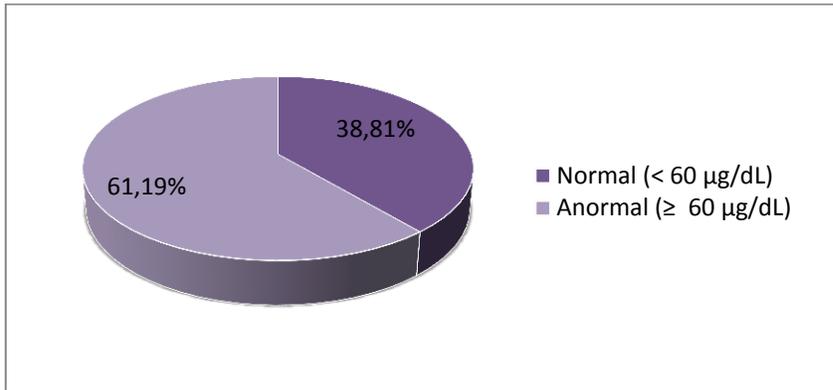


Tabla No. 26. Distribución Niveles ZPP Según Género

Niveles ZPP	Porcentaje Hombres	Porcentaje Mujeres
Normal	41,38%	30,00%
Anormal	58,62%	70,00%

Se encontró que el promedio de niveles de ZPP en hombres fue de 125,9 µg/dL, con un rango entre 11 y 456 µg/dL. Se encontró que el promedio de niveles de ZPP en mujeres fue de 153,5 µg/dL, con un rango entre 19 y 356 µg/dL.

## 8.8. Alteraciones en el examen clínico

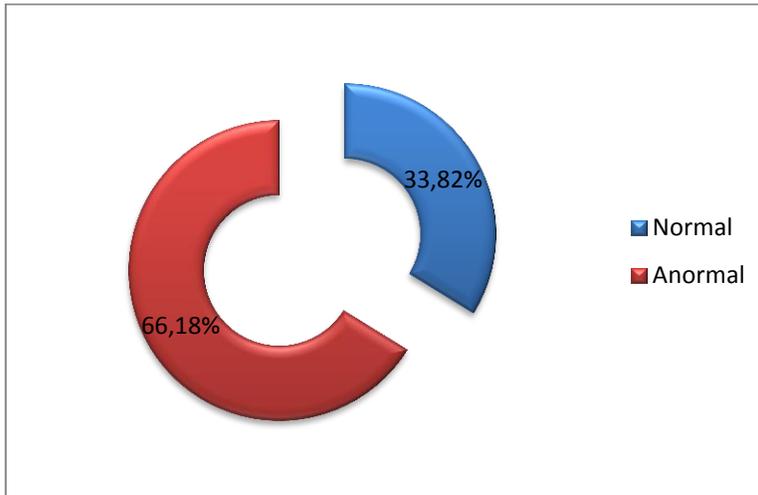
### 8.8.1. Alteraciones en el examen neurológico

A los 68 trabajadores participantes en el estudio se les practicó un examen médico minucioso, enfatizando en la evaluación neurológica. Se encontró que el examen neurológico fue anormal en 45 personas (66,18%) y normal en los 23 restantes (33,82%).

Tabla No. 27. Porcentaje Examen Neurológico Anormal

Examen Neurológico	Frecuencia	Porcentaje
Normal	23	33,82%
Anormal	45	66,18%

Figura No. 22. Porcentaje Examen Neurológico Anormal

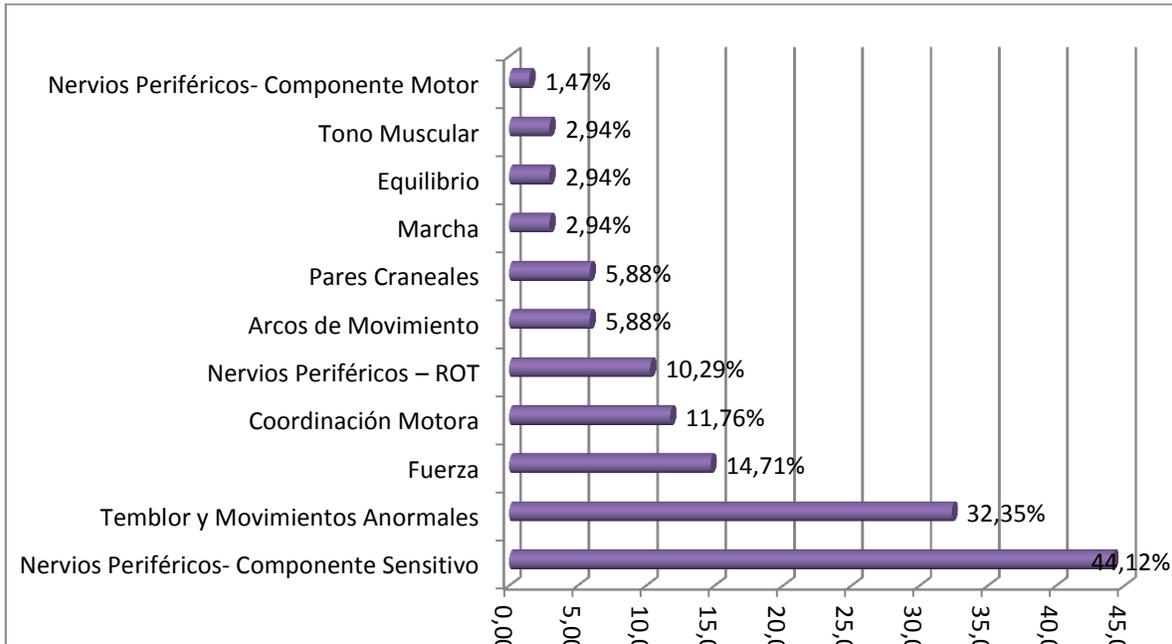


Los hallazgos encontrados en la evaluación neurológica corresponden en primer lugar a alteraciones a nivel del componente sensitivo de los nervios periféricos (44,12%), seguido de la presencia de temblor y movimientos anormales (32,35%) y luego las alteraciones en la fuerza (14,71%). En menor proporción se encuentran las alteraciones en la coordinación motora (11,76%), en los reflejos osteo-tendinosos (10,29%), pares craneales (5,88%), arcos de movimiento (5,88%), marcha (2,94%), equilibrio (2,94%), tono muscular (2,94%), y finalmente el componente motor de los nervios periféricos (1,47%).

Tabla No. 28. Distribución Alteraciones Neurológicas

Alteraciones Neurológicas	Anormal	Porcentaje	Normal	Porcentaje
Nervios Periféricos- Componente Sensitivo	30	44,12%	38	55,88%
Temblor y Movimientos Anormales	22	32,35%	46	67,65%
Fuerza	10	14,71%	58	85,29%
Coordinación Motora	8	11,76%	60	88,23%
Nervios Periféricos – ROT	7	10,29%	61	89,71%
Arcos de Movimiento	4	5,88%	64	94,12%
Pares Craneales	4	5,88%	64	94,12%
Marcha	2	2,94%	66	97,06%
Equilibrio	2	2,94%	66	97,06%
Tono Muscular	2	2,94%	66	97,06%
Nervios Periféricos- Componente Motor	1	1,47%	67	98,53%

Figura No. 23. Distribución Alteraciones Neurológicas



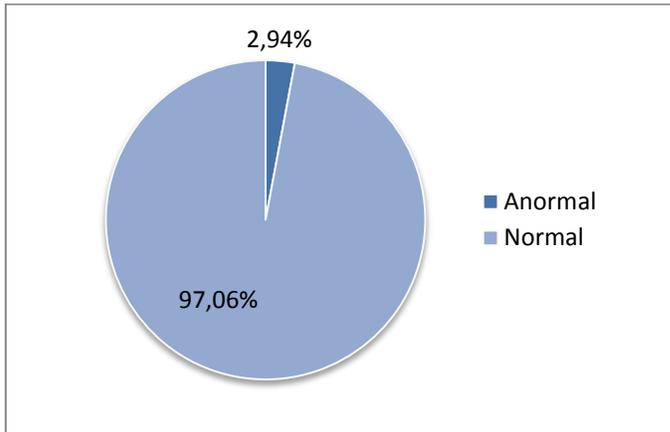
### 8.8.2. Alteraciones en el examen cardiopulmonar

El promedio de tensión arterial en la población estudiada fue de 124/78. En los 68 trabajadores evaluados se encontraron pocas alteraciones a nivel cardiopulmonar, solo 2 trabajadores presentaron alteraciones a este nivel. Las alteraciones encontradas corresponden a signos aislados, tales como presencia de agregados pulmonares y alteraciones del timbre de los ruidos cardiacos.

Tabla No. 29. Porcentaje Examen Cardiopulmonar Anormal

Examen Cardiopulmonar	Frecuencia	Porcentaje
Anormal	2	2,94%
Normal	66	97,06%

Figura No. 24. Porcentaje Examen Cardiopulmonar Anormal



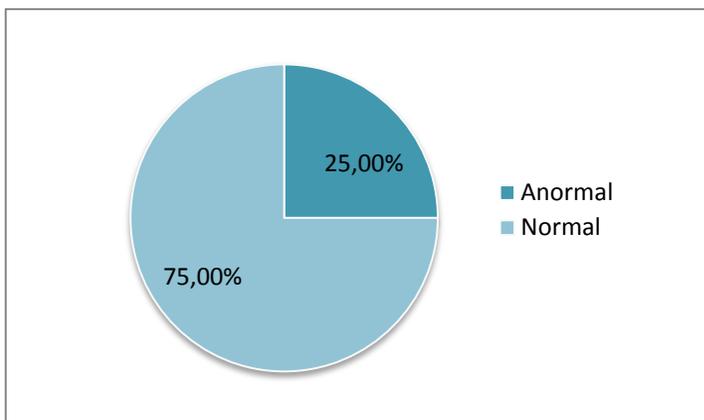
### 8.8.3. Alteraciones en el examen del sistema vascular periférico

De los 68 trabajadores evaluados, 17 presentan alteraciones a nivel del sistema vascular periférico, correspondiente al 25%, mientras que los 51 restantes, no tuvieron ningún tipo de alteración, correspondiente a 75%. De las 17 personas con alteraciones a este nivel, 16 presentan dilataciones varicosas de los miembros inferiores y solo 1 presenta alteraciones del llenado capilar y disminución de los pulsos periféricos.

Tabla No. 30. Porcentaje Examen Vascular Periférico Anormal

Examen Vascular Periférico	Frecuencia	Porcentaje
Anormal	17	25,00%
Normal	51	75,00%

Figura No. 25. Porcentaje Examen Vascular Periférico Anormal



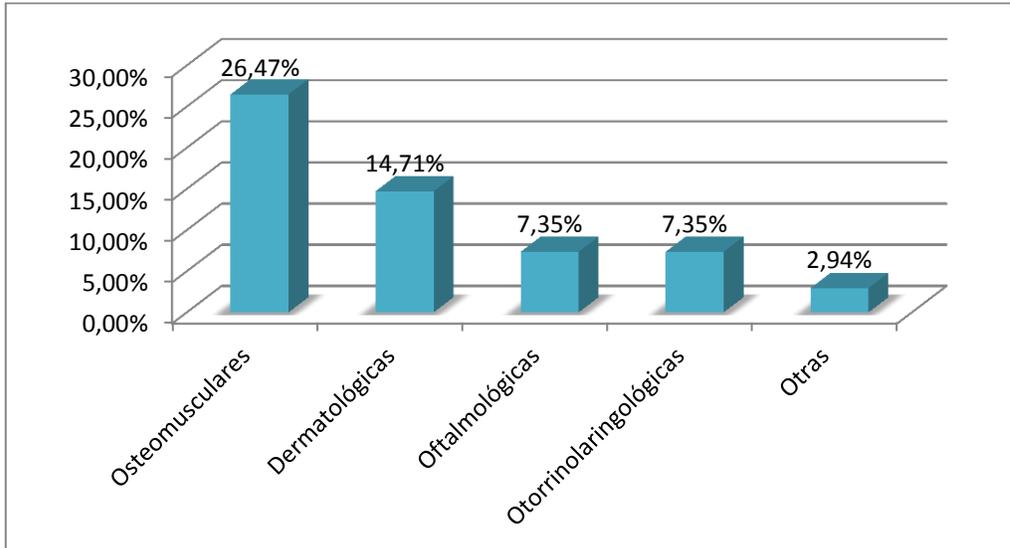
### 8.8.4. Otras alteraciones

En los 68 trabajadores evaluados se encontraron otras alteraciones al examen físico, que pueden clasificarse de la siguiente manera de mayor a menor frecuencia:

Tabla No. 31. Distribución de Otras Alteraciones

Otras alteraciones	Frecuencia	Porcentaje
Osteomusculares	18	26,47%
Dermatológicas	10	14,71%
Oftalmológicas	5	7,35%
Otorrinolaringológicas	5	7,35%
Otras	2	2,94%

Figura No. 26. Distribución de Otras Alteraciones



## 8.9. Resultados Minimental

A los 68 trabajadores examinados se les aplicó el test Minimental, el cual fue normal ( $\geq 24$  puntos) en todos los evaluados. El resultado promedio fue 27,91 puntos, con un rango de resultados entre 24 y 30 puntos. Se encontró una desviación estándar de 1,54 puntos y una mediana de 28 puntos.

## 9. Análisis y discusión de resultados

La exposición ocupacional a plomo sigue siendo un importante problema toxicológico y de salud pública en nuestro país. En la población estudiada se encontraron hallazgos importantes relacionados con la exposición crónica, tales como la presencia de sintomatología neurológica, alteraciones evidentes al examen físico neurológico y los niveles elevados de ZPP.

Se encontró que en la población estudiada no existe un uso apropiado de elementos de protección personal. Se encontró que los elementos más utilizados corresponden al uso de overol (73,53%) y botas antideslizantes (67,65%). Se encontró que los demás elementos de protección personal son utilizados en menor proporción, uso de monogafas (38,23%), máscara de protección de polvos (32,35%), guantes de carnaza (20,59%) y peto de carnaza (14,71%). Estos elementos son importantes en cuanto a la protección de vías respiratorias, principal vía de ingreso de plomo y otros metales, lo cual genera un riesgo para la salud de los trabajadores. Así mismo existe una alta probabilidad de sufrir daños a nivel de la piel, ojos y otras mucosas expuestas.

Se encontró que el examen neurológico fue anormal en 45 personas, es decir, el 66,18% de la población estudiada, lo cual constituye un porcentaje muy alto en comparación con la prevalencia de efectos neurotóxicos en trabajadores expuestos que se tuvo en cuenta según diferentes estudios, la cual se tomó como 7 %. Como se detallará más adelante, un porcentaje importante de los evaluados presentaron alteraciones a nivel del sistema nervioso periférico, especialmente alteraciones en el componente sensitivo y también se encontró un alto porcentaje de trabajadores con temblor y disminución de la fuerza. Estas alteraciones se encuentran descritas en diferentes revisiones bibliográficas y se considera que hacen parte del cuadro clínico por intoxicación crónica por plomo.

Uno de los hallazgos más importantes de este trabajo es la amplia presencia de síntomas neurológicos en la población de interés. Como se pudo evidenciar, 53 de ellos, es decir el 77,94%, presentan diferentes síntomas a nivel neurológico que pueden estar relacionados con la intoxicación crónica por plomo. Se encuentra que algunos de los entrevistados presentan cambios de conducta sutiles como irritabilidad, fatiga o cansancio y problemas de concentración, síntomas que pueden encontrarse con niveles sanguíneos relativamente bajos de plomo. Así mismo, se encuentran con mayor frecuencia, síntomas relacionados con la intoxicación crónica moderada a severa, tales como la presencia de cefaleas frecuentes y temblor. Es de destacar que la mayoría de la sintomatología referida por los entrevistados corresponde a probables alteraciones del sistema nervioso periférico, puesto que se evidencian en orden de frecuencia: parestesias en miembros superiores (42,65%), mialgias (29,41%) y temblor en manos (27,94%); en menor proporción se encuentran la presencia de debilidad (19,12%), pérdida de la fuerza (16,18%), calambres (16,18%), parestesias de miembros inferiores (16,18%), sin embargo estos síntomas son mucho más frecuentes que los relacionados con probables alteraciones a nivel del sistema nervioso central, tales como cefalea (13,23%), pérdida de la memoria (11,76%), irritabilidad (10,29%), mareos (8,82%), dificultades en la concentración (7,35%) e insomnio (1,47%). Estos resultados concuerdan con lo revisado en la literatura, en donde se destaca que el plomo es un conocido inductor de neuropatías periféricas, dado a la generación de cambios en el sistema nervioso periférico relacionados principalmente con el daño que produce a las

fibras nerviosas largas mielinizadas. Sin embargo, es importante tener en cuenta que los trabajadores de los procesos de fundición de metales, también están expuestos a otras sustancias con potencial neurotóxico y a riesgos ergonómicos relacionados con la carga de grandes cantidades de peso, lo cual puede generar efectos mecánicos que también pueden inducir neuropatías periféricas.

La sintomatología anteriormente descrita se relaciona muy bien con los hallazgos específicos encontrados en la evaluación clínica neurológica. En este aspecto se encontró en primer lugar alteraciones a nivel del componente sensitivo de los nervios periféricos (44,12%), cuya frecuencia es muy similar al principal síntoma neurológico referido por los participantes, que es la presencia de parestesias en miembros superiores (42,65%). El segundo hallazgo clínico neurológico es la presencia de temblor y movimientos anormales (32,35%), el cual también tiene una frecuencia similar a la presencia de temblor como síntoma (27,94%), y luego se encuentran las alteraciones de la fuerza (14,71%), el cual también se corresponde con la disminución de la fuerza como síntoma (16,18%). En menor proporción se encontraron alteraciones a la exploración neurológica a nivel de la coordinación motora (11,76%), en los reflejos osteo-tendinosos (10,29%), pares craneales (5,88%), arcos de movimiento (5,88%), marcha (2,94%), equilibrio (2,94%), tono muscular (2,94%), y finalmente el componente motor de los nervios periféricos (1,47%), alteraciones que pueden o no estar relacionadas con la intoxicación crónica por plomo, aunque las alteraciones del componente motor de los nervios periféricos y del tono muscular pueden encontrarse en intoxicación grave por plomo, previas a la parálisis o signo de la muñeca caída. Sin embargo, se debe tener presente que algunos de los hallazgos encontrados, especialmente la presencia de temblor, la disminución de la fuerza y las alteraciones en la coordinación motora pueden ser secundarias a algunos hábitos de los trabajadores, tales como el consumo de alcohol y drogas, aunque en esta población no se encontró alcoholismo crónico y un porcentaje muy bajo de los evaluados dice consumir drogas aunque no lo hacen de forma habitual.

En la población estudiada no se encontró alteración en cuanto a la medición de tensión arterial, el promedio fue de 124/78, lo cual puede sugerir que no hay efectos del plomo a este nivel. También es importante tener en cuenta que en los trabajadores evaluados se encontró la presencia de alteraciones a nivel osteomuscular y dermatológico, lo cual puede alterar de cierta manera la evaluación neurológica. Es así como se encontró que el 26,47% de los evaluados tienen alteraciones en la evaluación osteomuscular, de ellos el 16,18% tienen diagnósticos de patologías a este nivel, relacionadas principalmente con factores ergonómicos y antecedentes de accidentes principalmente a nivel laboral. Las principales alteraciones corresponden a síndromes dolorosos lumbares crónicos, los cuales pueden generar efectos compresivos a nivel radicular y por lo tanto alterar la evaluación a nivel neurológico de los miembros inferiores. En otros casos existe diagnóstico o sospecha de artropatías, lo cual puede alterar la evaluación principalmente de la fuerza y los arcos de movimiento en los miembros afectados. En cuanto al hallazgo de alteraciones dermatológicas, se encontró que el 14,71% de los evaluados presentan cambios en la piel, principalmente hiperqueratosis y dermatitis en zonas expuestas como las porciones distales de los miembros superiores. Estos cambios también pueden estar siendo generados por la exposición crónica a metales, pero no específicamente al plomo. Este tipo de afecciones que generan un engrosamiento de la piel pueden alterar la sensibilidad en especial a nivel

de las manos, por lo cual puede verse alterada la evaluación sensitiva a este nivel. También es importante destacar el hallazgo de alteraciones oftalmológicas y otorrinolaringológicas, las cuales pueden ser originadas por el contacto con polvo y humo metálico, el cual se encuentra de manera importante en este tipo de ambiente laboral.

En cuanto a los niveles de ZPP en sangre, se encontró que en el 61,19% de la población estudiada existen niveles por encima del valor de referencia (60  $\mu\text{g/dL}$ ), lo cual indica una exposición crónica a plomo que está generando una disfunción enzimática en los eritrocitos como consecuencia del daño causado por el plomo a este nivel. Sin embargo es importante tener en cuenta que al utilizar esta medición como método para la exploración de exposición crónica a plomo, hay una baja sensibilidad a niveles bajos de intoxicación por plomo, por lo cual el número de posibles personas con intoxicación crónica puede ser mayor. También es importante tener en cuenta que la variabilidad de los niveles de ZPP pueden estar relacionados con el tiempo de exposición y el cargo desempeñado en la empresa. En este caso se encontró que en promedio llevan trabajando 9 años en la empresa actual, el rango de tiempo que llevan trabajando se encuentra entre 2 meses y 27 años. La mayoría de los evaluados trabajan como operarios de planta, oficios generales, soldadores y fundidores, lo cual implica un contacto directo con las fuentes de polvo, vapor y humo metálico de este metal. El promedio de los niveles de ZPP encontrados en esta población es de 130,09  $\mu\text{g/dL}$ , con un rango entre 11 y 456  $\mu\text{g/dL}$ , lo cual teniendo en cuenta los valores de referencia puede sugerir niveles muy elevados de plumbemia, sin embargo, como ya se ha dicho, estos niveles de ZPP evidencian exposición prolongada a niveles elevados de plomo, sin olvidar los otros factores mencionados que pueden interferir. Se encontró que el promedio de niveles de ZPP en hombres fue de 125,9  $\mu\text{g/dL}$ , con un rango entre 11 y 456  $\mu\text{g/dL}$ . Se encontró que el promedio de niveles de ZPP en mujeres fue de 153,5  $\mu\text{g/dL}$ , con un rango entre 19 y 356  $\mu\text{g/dL}$ . En este grupo no se evidencian grandes diferencias entre los resultados obtenidos para ZPP entre hombres y mujeres, aunque el promedio de ZPP es ligeramente mayor en el grupo de mujeres. Sin embargo el número de mujeres evaluadas en este estudio es muy reducido comparado con el de hombres.

Teniendo en cuenta los resultados encontrados en estas mediciones, puede considerarse que la medición de ZPP constituye una importante herramienta de vigilancia en trabajadores expuestos a plomo, la cual puede ser utilizada por las empresas para realizar un seguimiento periódico cuando no existen recursos económicos para realizar niveles de plomo en sangre.

El 100% de los evaluados obtuvieron puntuaciones normales en el Test Minimental. Sin embargo es importante tener en cuenta que esta herramienta evidencia deterioro cognitivo severo, por lo tanto puede no detectar deterioros cognitivos leves o moderados.

La presencia de una evaluación neurológica anormal en un porcentaje tan alto de la población estudiada, 66,18%, asociado al hallazgo de niveles elevados de ZPP en un 61,19%, con un promedio de 130,09  $\mu\text{g/dL}$  (VN < 60  $\mu\text{g/dL}$ ), con un rango entre 11 y 456  $\mu\text{g/dL}$ , sugiere que los trabajadores evaluados pueden estar cursando con intoxicación crónica por plomo. Los hallazgos neurológicos específicos encontrados sugieren la presencia de neuropatías periféricas que pueden corresponder al daño causado por plomo en exposiciones crónicas.

## 10. Conclusiones y recomendaciones

### 10.1. Conclusiones

La exposición ocupacional a plomo constituye un importante problema toxicológico y de salud pública en nuestro país, siendo una causa importante de morbilidad en trabajadores expuestos, quienes en ocasiones no tienen conocimiento sobre el riesgo que implica trabajar con este metal y las consecuencias que puede traer para su salud.

La elevada presencia de alteraciones clínicas neurológicas en esta población, 66,18%, es decir, 7 de cada 10 trabajadores, asociado a la presencia de síntomas neurológicos en el 77,94% de los trabajadores y al hallazgo de niveles altos de ZPP en el 61,19%, es decir 6 de cada 10 personas, sugiere que estos trabajadores pueden estar presentando un cuadro clínico compatible con la intoxicación crónica por plomo, en especial porque los principales hallazgos corresponden a alteraciones de los nervios periféricos de miembros superiores, de acuerdo con lo descrito en la literatura internacional.

La alta prevalencia de niveles elevados de ZPP en sangre, 61,19%, con un promedio de 130,09  $\mu\text{g/dL}$ , y un rango entre 11 y 456  $\mu\text{g/dL}$ , puede sugerir la presencia de niveles altos de plomo en sangre, y evidencian exposición prolongada a altos niveles de plomo en el ambiente de trabajo. Sin embargo esta medición puede resultar normal en exposiciones cortas y en personas que cursen con niveles relativamente bajos de plomo, por lo cual se considera que puede subestimar el número real de trabajadores con niveles tóxicos de plomo.

No se encontró deterioro cognitivo en los evaluados, el 100% de las puntuaciones en el Test Minimental fueron normales. Sin embargo, como ya se mencionó, es importante tener en cuenta que esta herramienta evidencia deterioro cognitivo severo, por lo tanto puede no detectar deterioros cognitivos leves o moderados.

Se puede considerar que la medición de ZPP en sangre es una buena herramienta de tamizaje para este tipo de poblaciones, y puede ser implementado en programas de vigilancia epidemiológica para estos grupos, por ser un examen de bajo costo en comparación con los niveles de plumbemia. Para un uso apropiado de esta herramienta se recomendaría realizar análisis de plomo en sangre en quienes se encuentren valores de ZPP por encima de la referencia, para confirmar el hallazgo. También debe descartarse la presencia de otras patologías tales como las anemias.

La identificación oportuna de trabajadores en riesgo por exposición crónica a plomo en ambiente laboral mediante pruebas de tamizaje como la empleada en este estudio, puede permitir la identificación temprana y la prevención de las posibles complicaciones que puedan generarse por dicha exposición. Las valoraciones periódicas deben verificar el grado de afectación de la salud de la población por esta causa, de manera que puedan tomarse las medidas necesarias en cuanto a tratamientos.

Es importante generar conciencia en los trabajadores y los empleadores sobre el riesgo para la salud que implica trabajar con plomo, ya que muchos de los evaluados desconocen esta problemática. En este aspecto también hay que enfatizar en la educación sobre el uso de elementos de protección personal, ya que lo que se evidenció en el trabajo de campo es que no hay uso de estos, o no son bien utilizados, o no son apropiados.

También hay que capacitar mejor a los trabajadores y empleadores en cuanto al control y manejo del ambiente laboral, de manera que se pueda prevenir la inhalación e ingestión del plomo. Se debe instruir sobre la limpieza de los sitios en donde se produce el polvo, especialmente en húmedo, uso de elementos de protección personal, uso de ropa protectora de determinadas fibras sintéticas que retengan menos polvo, sobre instalaciones sanitarias apropiadas, sobre la necesidad de tener tiempo suficiente para lavarse antes de comer y sobre la importancia de prohibir comer y fumar en las proximidades de las áreas en que se procesa el plomo, ya que esta es una costumbre muy frecuente en este grupo de trabajadores.

## **10.2. Recomendaciones**

Sería importante en evaluaciones posteriores de este tipo de poblaciones realizar las mediciones de plomo en sangre, de manera que se tenga una aproximación mucho más precisa de la prevalencia de intoxicación por plomo y su relación con la evaluación clínica, ya que la evaluación de ZPP puede subestimar a quienes se encuentran con niveles relativamente bajos o con exposiciones cortas.

Para evaluaciones posteriores de deterioro cognitivo asociado a la intoxicación crónica por plomo, sería importante que se contara con una herramienta alterna al test Minimental, de manera que se puedan detectar alteraciones cognitivas en fases más tempranas, ya que el Minimental muestra deterioros severos.

Estos resultados deben servir como una aproximación inicial a una problemática muy importante en nuestro país, de manera que sería importante el desarrollo de nuevos estudios de tipo analítico y experimental que permitan establecer mejor la asociación entre exposición crónica a plomo y alteraciones no solo a nivel neurológico, también en otros aspectos clínicos y moleculares que pueden afectarse por este tóxico.

Este tipo de estudios muestran la necesidad que tienen los trabajadores, los empleadores y en general la sociedad, de tener más contacto con los grupos de investigación de la Universidad Nacional de Colombia, en cuanto a dar a conocer problemáticas que puedan afectarles, y así mismo dar asesoría para prevención y soluciones a sus requerimientos.



## B. Anexo: Reporte de niveles de protoporfirina zinc eritrocitaria

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
FACULTAD DE MEDICINA – DEPARTAMENTO DE TOXICOLOGIA  
MAESTRÍA EN TOXICOLOGÍA  
NIVELES DE PROTOPORFIRINA ZINC ERITROCITARIA

No. Código

--	--	--	--

Datos de identificación:

- Nombre: \_\_\_\_\_
- Doc identificación: \_\_\_\_\_
- Sexo: F\_\_\_ M\_\_\_
- Estado civil: \_\_\_\_\_
- Fecha de nacimiento: \_\_\_\_\_
- Lugar de nacimiento: \_\_\_\_\_
- Residencia: Urbana\_\_\_ Rural\_\_\_
- Dirección: \_\_\_\_\_
- Teléfono: \_\_\_\_\_

Análisis de Laboratorio. Niveles de protoporfirina zinc eritrocitaria:

- Resultado: \_\_\_\_\_

Niveles normales < 60 µg/dL.

Analista Químico: \_\_\_\_\_

## C. Anexo: Historia clínica toxicológica y examen físico neurológico

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
 FACULTAD DE MEDICINA – DEPARTAMENTO DE TOXICOLOGIA  
 MAESTRÍA EN TOXICOLOGÍA  
 HISTORIA CLINICA TOXICOLOGICA Y EXAMEN CLINICO NEUROLOGICO

No. Código

--	--	--	--

Lugar de Diligenciamiento: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

### DATOS GENERALES:

- Nombre: \_\_\_\_\_
- Docidentificación: \_\_\_\_\_
- Sexo: F\_\_\_M\_\_\_
- Estado civil: \_\_\_\_\_
- Fecha de nacimiento: \_\_\_\_\_
- Lugar de nacimiento: \_\_\_\_\_
- Empresa: \_\_\_\_\_
- Área de desempeño: \_\_\_\_\_
- Residencia: Urbana:\_\_\_ Rural:\_\_\_
- Dirección: \_\_\_\_\_
- Teléfono: \_\_\_\_\_
- Nivel de escolaridad: A\_\_\_ P\_\_\_ S\_\_\_  
T\_\_\_ U\_\_\_ Otro\_\_\_

### ANTECEDENTES PERSONALES Y FAMILIARES:

¿Es o ha sido fumador de cigarrillo, tabaco, pipa o cualquier otra sustancia?

SI\_\_\_ NO\_\_\_

¿Es o ha sido consumidor de bebidas alcohólicas con frecuencia por lo menos semanal? Cual?

SI\_\_\_ NO\_\_\_

¿Ha tenido que ser hospitalizado en alguna ocasión a consecuencia de una enfermedad o accidente?

SI\_\_\_ NO\_\_\_

¿Le ha sido realizada en alguna ocasión un tratamiento quirúrgico u ortopédico?

SI\_\_\_ NO\_\_\_

¿Le ha sido diagnosticada en alguna ocasión una enfermedad cardiaca o vascular?

SI\_\_\_ NO\_\_\_

---

¿Le ha sido diagnosticada a algún familiar una enfermedad cardiaca o vascular?

SI \_\_\_ NO \_\_\_

---

¿Le ha sido diagnosticada alguna enfermedad pulmonar o respiratoria relacionada con consumo de cigarrillo o tabaco?

SI \_\_\_ NO \_\_\_

---

¿Le ha sido diagnosticada en alguna ocasión una enfermedad mental o psicológica?

SI \_\_\_ NO \_\_\_

---

¿Ha estado recluido en algún hospital psiquiátrico o en una casa de reposo por alguna enfermedad mental?

SI \_\_\_ NO \_\_\_

---

¿Le ha sido diagnosticada a algún familiar una enfermedad mental o psicológica?

SI \_\_\_ NO \_\_\_

---

¿Le ha sido diagnosticada en alguna ocasión una enfermedad neurológica?

SI \_\_\_ NO \_\_\_

---

¿Recibe o ha recibido medicamentos formulados para el tratamiento de alguna enfermedad, por un periodo superior a un mes?

SI \_\_\_ NO \_\_\_

---

¿Ha presentado algún síntoma neurológico? ¿Cuál?

SI \_\_\_ NO \_\_\_

---

#### EXAMEN CLINICO

##### CONSTANTES FISIOLÓGICAS

- |  |                                  |
|--|----------------------------------|
| ▪ Peso: _____ Kg                                   | ▪ Presión Arterial: _____        |
| ▪ Talla: _____ m                                   | ▪ Frecuencia Cardiaca: _____     |
| ▪ Índice de Masa Corporal: _____ Kg/m <sup>2</sup> | ▪ Frecuencia Respiratoria: _____ |

## EXAMEN CARDIOVASCULAR

Cabeza y Cuello: Normal \_\_\_ Anormal \_\_\_

---

¿Presenta cianosis peribucal? SI \_\_\_ NO \_\_\_

Inspección Torácica: Normal \_\_\_ Anormal \_\_\_

---

Palpación y Percusión Torácica: Normal \_\_\_ Anormal \_\_\_

---

Auscultación Pulmonar: Normal \_\_\_ Anormal \_\_\_

---

Ritmo Cardíaco: Normal \_\_\_ Anormal \_\_\_

---

Timbre de Ruidos Cardíacos: Normal \_\_\_ Anormal \_\_\_

---

Soplos Cardíacos: Si \_\_\_ No \_\_\_

---

Sistema Vascular PeriféricoVarices: Si \_\_\_ No \_\_\_

---

Evaluación de pulsos periféricos: Normal \_\_\_ Anormal \_\_\_

---

¿Hay cianosis ungueal?

SI \_\_\_ NO \_\_\_

¿Hay uñas en vidrio de reloj?

SI \_\_\_ NO \_\_\_

¿Hay alteración del llenado capilar?

SI \_\_\_ NO \_\_\_

Describa otros hallazgos de la exploración clínica cardiovascular: \_\_\_\_\_

---

## EVALUACION NEUROLOGICA Y OSTEOMUSCULAR:

Examen de pares craneales: Normal \_\_\_ Anormal \_\_\_

---

Marcha: Normal \_\_\_ Anormal \_\_\_

---

Equilibrio: Normal \_\_\_ Anormal \_\_\_

---

Coordinación motora: Normal \_\_\_ Anormal \_\_\_

---

Nervios periféricos:

Evaluación motora: Normal \_\_\_ Anormal \_\_\_

---

Evaluación sensitiva: Normal \_\_\_ Anormal \_\_\_

---

Reflejos osteomusculares: Normales \_\_\_ Anormales \_\_\_

---

Temblor y movimientos anormales: Presente \_\_\_ Ausente \_\_\_

---

Arcos de movimiento articular: Normal \_\_\_ Anormal \_\_\_

---

Tono muscular: Normal \_\_\_ Anormal \_\_\_

---

Fuerza muscular: Normal \_\_\_ Anormal \_\_\_

---

Diámetros Miembros:

Brazo Derecho \_\_\_ cm

Muslo Derecho \_\_\_ cm

Brazo Izquierdo \_\_\_ cm

Muslo Izquierdo \_\_\_ cm

Antebrazo Derecho \_\_\_ cm

Pierna Derecha \_\_\_ cm

Antebrazo Izquierdo \_\_\_ cm

Pierna Izquierda \_\_\_ cm

Realizado por:

## D. Anexo: Test Minimental

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
FACULTAD DE MEDICINA – DEPARTAMENTO DE TOXICOLOGIA  
MAESTRÍA EN TOXICOLOGÍA  
TEST MINIMENTAL

### MINI MENTAL STATE EXAMINATION (MMSE)

*Basado en Folstein et al. (1975), Lobo et al. (1979)*

Nombre: \_\_\_\_\_ Varón [ ] Mujer [ ]  
Fecha: \_\_\_\_\_ F. nacimiento: \_\_\_\_\_ Edad: \_\_\_\_\_  
Estudios/Profesión: \_\_\_\_\_ N. Hª: \_\_\_\_\_  
Observaciones: \_\_\_\_\_

¿En qué año estamos? 0-1 ¿En qué estación? 0-1 ¿En qué día (fecha)? 0-1 ¿En qué mes? 0-1 ¿En qué día de la semana? 0-1	ORIENTACIÓN TEMPORAL (Máx.5)	
¿En qué hospital (o lugar) estamos? 0-1 ¿En qué piso (o planta, sala, servicio)? 0-1 ¿En qué pueblo (ciudad)? 0-1 ¿En qué provincia estamos? 0-1 ¿En qué país (o nación, autonomía)? 0-1	ORIENTACIÓN ESPACIAL (Máx.5)	
Nombre tres palabras Peseta-Caballo-Manzana (o Balón- Bandera-Arbol) a razón de 1 por segundo. Luego se pide al paciente que las repita. Esta primera repetición otorga la puntuación. Otorgue 1 punto por cada palabra correcta, pero continúe diciéndolas hasta que el sujeto repita las 3, hasta un máximo de 6 veces. Peseta 0-1 Caballo 0-1 Manzana 0-1 (Balón 0-1 Bandera 0-1 Árbol 0-1)	Nº de repeticiones necesarias  FIJACIÓN-Recuerdo Inmediato (Máx.3)	
Si tiene 30 pesetas y me va dando de tres en tres, ¿Cuántas le van quedando?. Detenga la prueba tras 5 sustracciones. Si el sujeto no puede realizar esta prueba, pídale que deletree la palabra MUNDO al revés. 30 0-1 27 0-1 24 0-1 21 0-1 18 0-1 (O 0-1 D 0-1 N 0-1 U 0-1 M0-1)	ATENCIÓN- CÁLCULO (Máx.5)	
Preguntar por las tres palabras mencionadas anteriormente. Peseta 0-1 Caballo 0-1 Manzana 0-1 (Balón 0-1 Bandera 0-1 Árbol 0-1)	RECUERDO diferido (Máx.3)	
<i>.DENOMINACIÓN.</i> Mostrarle un lápiz o un bolígrafo y preguntar ¿qué es esto?. Hacer lo mismo con un reloj de pulsera. Lápiz 0-1 Reloj 0-1 <i>.REPETICIÓN.</i> Pedirle que repita la frase: "ni sí, ni no, ni pero" (o "En un trigal había 5 perros") 0-1 <i>.ÓRDENES.</i> Pedirle que siga la orden: "coja un papel con la mano derecha, dóblelo por la mitad, y póngalo en el suelo". Coje con mano d. 0-1 dobla por mitad 0-1 pone en suelo 0-1 <i>.LECTURA.</i> Escriba legiblemente en un papel "Cierre los ojos". Pídale que lo lea y haga lo que dice la frase 0-1 <i>.ESCRITURA.</i> Que escriba una frase (con sujeto y predicado) 0-1 <i>.COPIA.</i> Dibuje 2 pentágonos intersectados y pida al sujeto que los copie tal cual. Para otorgar un punto deben estar presentes los 10 ángulos y la intersección. 0-1	LENGUAJE (Máx.9)	
Puntuaciones de referencia 27 ó más: normal 24 ó menos: sospecha patológica 12-24: deterioro 9-12 : demencia	Puntuación Total (Máx.: 30 puntos)	

## E. Anexo: Formato de entrega de resultados

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
 FACULTAD DE MEDICINA – DEPARTAMENTO DE TOXICOLOGIA  
 MAESTRÍA EN TOXICOLOGÍA  
 FORMATO DE ENTREGA DE RESULTADOS

No. Código

--	--	--	--

Datos de identificación:

- Nombre: \_\_\_\_\_
- Doc identificación: \_\_\_\_\_
- Residencia: Urbana \_\_\_ Rural \_\_\_\_\_
- Dirección: \_\_\_\_\_
- Teléfono: \_\_\_\_\_

**Análisis de Laboratorio. Niveles de protoporfirina zinc eritrocitaria:**

- **Resultado:**

\_\_\_\_\_

**Test Minimental:**

- **Resultado:**

\_\_\_\_\_

**Observaciones acerca de historia clínica:**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Recomendaciones:**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Realizado por:**

\_\_\_\_\_

## Bibliografía

1. [www.atsdr.cdc.gov](http://www.atsdr.cdc.gov) Normas de Niveles de Plomo
2. [www.dama.gov.co](http://www.dama.gov.co). Guía para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos-Fichas Temáticas.
3. [www.insht.es/portal/site/Insht/menuitemEnciclopedia](http://www.insht.es/portal/site/Insht/menuitemEnciclopedia) de Salud y Seguridad en el Trabajo OIT.
4. BLEECKER, M, et al. *Differential effects of Lead Exposure on Components of Verbal Memory*. Occupational Environmental Medicine. 2005;62:181–187.
5. BRODKIN,E, et al. *Lead and mercury exposures: interpretation and action*.Canadian Medical Association. Enero 2, 2007. 176(1) 59-63.
6. CARDENAS, O, et al. *Correlación de Protoporfirina Zinc y Plomo en Sangre de Trabajadores de Fábricas de Baterías, de Bogotá, Colombia*. Revista de Salud Pública de México, 2001. Vol 43 (3) 203-210.
7. FERRER,A. *Intoxicación por Metales*. ANALES Sis San Navarra 2003; 26 (Supl. 1): 141-153.
8. GARZA A, et al. *Cellular Mechanisms of Lead Neurotoxicity*. Medical Science Monitoring, 2006; 12(3): RA57-65
9. GIDLOW,D. *Lead Toxicity*. Occupational Medicine 2004; 54: 76-81.
10. JÄRUP,L. *Hazards of Heavy Metal Contamination*. British Medical Bulletin, 2003. Vol 68. 167-182
11. KLAASSEN,C. *Casarett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons*. 5ª edición. Ed McGraw Hill. 1996, Estados Unidos. Capítulo 23. ToxicEffects of Metals.
12. KRIEG, E, et al. *The Relationship Between Blood Lead Levels and Neurobehavioral in NHANES III and Related Occupational Studies*. PublicHealthReports. Mayo–Junio 2005. Vol 120. 240-251
13. LAUWERYS,R. *Toxicología Industrial e Intoxicaciones Profesionales*.ed. Masson. 1994, Barcelona, España.
14. MAGOS,L, SUZUKI,T. *Toxicology of Metals*.Ed. CRC press. 1996. Estados Unidos. Sección V. Neurotoxicology of Metals.

15. REINOSO, L, et al. *Actualización en Marcadores Biológicos del Saturnismo*. Biomedicina y Legislación Sanitaria. Biolex. Septiembre 2004. Artículo 8.
16. RODRIGUEZ, P.L, et al. *Técnicas Clínicas para el Examen Físico Neurológico. I. Organización General, Nervios Craneales y Nervios Raquídeos Periféricos*. Revista de Neurología. 2004; 39 (8): 757-766.
17. RODRIGUEZ, P.L, et al. *Técnicas Clínicas para el Examen Físico Neurológico. II. Función Motora y Refleja*. Revista de Neurología. 2004; 39 (9): 848-859.
18. RODRIGUEZ, P.L, et al. *Técnicas Clínicas para el Examen Físico Neurológico. III. Función Sensitiva*. Revista de Neurología. 2004; 39 (10): 966-971.
19. TELLEZ, M, et al. *Longitudinal Associations Between Blood Lead Concentrations Lower Than 10  $\mu\text{g}/\text{dL}$  and Neurobehavioral Development in Environmentally Exposed Children in Mexico City*. Pediatrics. 2006;118;323-330.
20. URIBE, M, URREA, E. *Neurotoxicología y Neurología Ocupacional*. Guías de Neurología de la Asociación Colombiana de Neurología. 2000;
21. WEUVE, J, et al. *Study Examination in Older Men: the Normative Aging Lead Exposure and the Mini-Mental Status Polymorphism and the Relation Between Low Level*. Occupational Environmental Medicine. 2006;63;746-753.

