



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

EVALUACIÓN MÉDICO
OCUPACIONAL DEL TRABAJADOR
EXPUESTO AL PLOMO EN EL PERÚ

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA
OPTAR EL GRADO DE MAESTRO EN
MEDICINA OCUPACIONAL Y DEL MEDIO
AMBIENTE

HILDA MAYRA HUAMAN APAZA
ARTURO JAIRO MELGAR ALIAGA

LIMA – PERÚ

2025

ASESOR

MG. ANGIE KIMBERLY BORJAS FELIX

CO ASESOR

MED. ESP. MARIA DEL CARMEN GASTAÑAGA RUIZ

JURADO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

MG. CINTHIA KARINA CRUZ MEZA

PRESIDENTE

MG. MARTHA ROCIO LUCERO PEREZ

VOCAL

MG. ARMANDO WILLY TALAVERANO OJEDA

SECRETARIO

DEDICATORIA

A mis padres, por enseñarme el camino.

A mi esposa y a mi hija, por recorrerlo a mi lado.

A mis padres, por ser mi fortaleza.

A mi esposo y mis hijas, por el amor entregado.

AGRADECIMIENTOS

A nuestras asesoras, por el tiempo dedicado y los consejos otorgados

FUENTES DE FINANCIAMIENTO

Trabajo de investigación Autofinanciado

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Los egresados:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES
1.	HUAMAN APAZA HILDA MAYRA
2.	MELGAR ALIAGA ARTURO JAIRO

Pertencientes al programa de la **MAESTRÍA EN MEDICINA OCUPACIONAL Y DEL MEDIO AMBIENTE**, autores del trabajo titulado: **EVALUACIÓN MÉDICO OCUPACIONAL DEL TRABAJADOR EXPUESTO AL PLOMO EN EL PERÚ**, el cual ha sido elaborado, sustentado y aprobado, según corresponda, para optar por el grado de **MAESTRO EN MEDICINA OCUPACIONAL Y DEL MEDIO AMBIENTE** bajo la modalidad de **TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**.

En calidad de docentes asesores de la Universidad Peruana Cayetano Heredia:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES DEL DOCENTE	FACULTAD	NIVEL DE ASESORÍA
1.	BORJAS FELIX ANGIE KIMBERLY	FAMED	ASESOR
2.	GASTAÑAGA RUIZ MARIA DEL CARMEN	FAMED	CO ASESOR

Declaramos que el contenido del presente documento es original y que las citas y referencias a otros autores cumplen con las normas académicas establecidas. En ese sentido, hacemos constar que:

- El documento presenta un porcentaje de similitud de **13%**, según el reporte emitido por el software **Turnitin®** (identificador de entrega: **2918759022**; fecha de entrega: **31-03-2026**).
- Tras una revisión detallada del reporte y del contenido del trabajo en cuestión, no se han identificado indicios de plagio.
- Se certifica que el documento respeta los principios de integridad académica y cumple con los requisitos institucionales de originalidad.

Lugar y fecha: Lima, 31 de marzo de 2026



Firma del asesor
N° DNI: 42738630
ORCID: 0000-0002-7208-558X



Firma del Co-asesor
N° DNI: 07782548
ORCID: 0009-0009-7621-0745

ÍNDICE

RESUMEN

ABSTRACT

I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	8
III. DESARROLLO DEL ESTUDIO	9
1. EL PLOMO COMO AGENTE DE RIESGO	9
2. FISIOLÓGÍA DEL TRABAJADOR EXPUESTO A PLOMO	10
3. EFECTOS SOBRE LA SALUD	21
4. ACTIVIDADES ASOCIADAS A LA EXPOSICION AL PLOMO.....	34
5. EVALUACIÓN MÉDICA OCUPACIONAL DEL TRABAJADOR EXPUESTO AL PLOMO	37
6. NORMATIVA DE EVALUACIÓN MÉDICA OCUPACIONAL EN EL PERÚ	49
7. PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN MÉDICA EN TRABAJADORES EXPUESTOS A PLOMO EN EL PERÚ	53
8. VIGILANCIA DE LA SALUD DEL TRABAJADOR EXPUESTO AL PLOMO.....	56
9. EVALUACION MEDICO OCUPACIONAL DEL TRABAJADOR EXPUESTO A PLOMO EN SUDAMÉRICA	63
IV. CONCLUSIONES	76

V. RECOMENDACIONES.....	78
VI. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	79
VII. ANEXOS	

RESUMEN:

La evaluación médico ocupacional (EMO) de trabajadores expuestos al plomo es una actividad preventiva, realizada con la finalidad de detectar de manera precoz los efectos negativos en la salud, prevenir enfermedades ocupacionales, planificar intervenciones, entre otras, que requiere ser llevada de una manera ordenada y estandarizada para poder cumplir adecuadamente su objetivo. En el Perú, si bien existe una normativa (RM 312-2011-MINSA), como referencia para protocolos de EMO, no se ha desarrollado uno específico para trabajadores expuestos al plomo, lo cual limita la propia evaluación médica, dificulta una adecuada vigilancia ocupacional, el desarrollo de medidas preventivas y de control y facilita el desarrollo de una enfermedad profesional. **Objetivo:** analizar la situación actual de la normativa y los procedimientos de evaluación médico ocupacional en trabajadores expuestos a plomo en empresas en el Perú y de países de Sudamérica. **Diseño:** Se realizó una investigación cualitativa, de tipo revisión documental. **Materiales y métodos:** se realizó la búsqueda de información de artículos científicos en revistas, guías de práctica clínica, revisiones sistemáticas, documentos técnicos, normativas y documentos gubernamentales. Posteriormente, se procedió al análisis y desarrollo del estudio. **Resultados:** el estudio reveló que, en nuestro país, la normativa vigente presenta lineamientos generales sin una guía específica para la evaluación médica de trabajadores expuestos a plomo. Además, se identificaron diferencias normativas de países de la región como Brasil, Argentina y Ecuador, con protocolos más estructurados. **Conclusión:** la evaluación médica ocupacional de trabajadores expuestos al plomo es un proceso clave para garantizar su salud, por lo que requiere de la participación de las autoridades

competentes para el desarrollo de un protocolo específico que permita estandarizar la evaluación asegurando resultados confiables que sirvan de base para establecer acciones preventivas adecuadas.

Palabras clave: *toxicidad del plomo, exposición ocupacional, evaluación médica ocupacional, legislación laboral*

ABSTRACT

Occupational medical evaluation (OME) for workers exposed to lead is a preventive measure carried out with the aim of detecting negative health effects early, preventing occupational diseases, planning interventions, among other things, which must be carried out in a standardized manner to adequately fulfill their objective. In Peru, although there is a regulation (RM 312-2011-MINSA) as a reference for OME protocols, there is no specific regulation for workers exposed to lead, which limits the medical evaluation itself, hinders adequate occupational surveillance and the development of preventive and control measures, and facilitates the development of occupational diseases. **Objective:** to analyze the current situation of regulations and occupational medical evaluation procedures for workers exposed to lead in companies in Peru and South American countries. **Design:** A qualitative investigation was conducted in the form of a document review. **Materials and methods:** a search for information was conducted in scientific articles in journals, clinical practice guidelines, systematic reviews, technical documents, regulations, and government documents. Subsequently, the study was analyzed and developed. **Results:** the study revealed that, in our country, current regulations provide general guidelines without specific guidance for the medical evaluation of workers exposed to lead. In addition, regulatory differences were identified in countries in the region such as Brazil, Argentina, and Ecuador, which have more structured protocols. **Conclusion:** The occupational medical evaluation of workers exposed to lead is a key process for ensuring their health, and therefore requires the participation of the competent authorities in the development

of a specific protocol that allows for the standardization of the evaluation, ensuring reliable results that serve as a basis for establishing appropriate preventive actions.

Keywords: lead toxicity, occupational exposure, occupational medical evaluation, labor legislation.

I. INTRODUCCIÓN

La evaluación médico ocupacional de trabajadores es una actividad preventiva, realizada con la finalidad de detectar de manera precoz los efectos negativos en la salud, por lo que deben estar orientadas y ser específicas con la finalidad de identificar factores de riesgo laborales y extralaborales (del entorno de trabajador o del ambiente familiar del mismo), antecedentes de ocupaciones con riesgo de exposición a plomo, identificar de manera temprana la presencia de síntomas y signos, además de hallazgos de laboratorio que permitan al médico ocupacional establecer un plan de vigilancia y de control (1).

La exposición a plomo puede provocar graves efectos a la salud , ya que no cumple ninguna función en el organismo, y la presencia de manifestaciones clínicas dependerán de diferentes factores como el nivel y duración de la exposición, la edad, el sexo, el estado nutricional, entre otros (2–5) por lo que las medidas preventivas deben incluir la eliminación, los controles de ingeniería, los controles administrativos y el uso de equipos de protección personal para disminuir la exposición a nivel laboral.

De acuerdo con el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH), un nivel de plomo en sangre por encima de los 5 $\mu\text{g}/\text{dL}$ se debe considerar elevado e incluirse al trabajador en un programa de vigilancia (6), por lo que se han diseñado programas para reducir los niveles elevados de plomo en sangre entre adultos trabajadores de 16 años o más. En el caso de exposición laboral, la Conferencia Americana de Industria Gubernamental (ACGIH) propone un límite máximo de 30 $\mu\text{g}/\text{dL}$ y la Administración de

Seguridad y Salud Ocupacional indica que el límite de tolerancia en personas adultas expuesta a Pb es de 40 µg/dL (7-9).

Otros países como Brasil, Argentina o Ecuador cuentan con normativas de manejo de exposición a plomo en trabajadores que no superen los < 40 µg/dL (7,10,11) estableciendo el retiro del área al trabajador que exceda estos valores.

En Perú de acuerdo con la Resolución Ministerial 511-2007/MINSA y su posterior modificatoria Resolución Ministerial 400-2017/MINSA, se consideran como valores referenciales para menores de 12 años < 10 µg/dL, adultos no expuestos por ocupación < 20 µg/dL y personas expuestas ocupacionalmente < 40 µg/dL (12,13). Estos valores referenciales distan bastante de los recomendados por la NIOSH debido a encontrarnos en realidades diferentes, con factores geológicos, de informalidad laboral, de idiosincrasia y exigencia de cumplimientos legales distintos.

La evaluación médica ocupacional nos permite conocer el estado de salud del trabajador tanto al inicio del vínculo laboral, durante y al final. Para realizar esta evaluación se requiere de un protocolo que comprenda un conjunto de pruebas generales y específicas para las actividades de riesgo a las que podría estar expuesto el trabajador. En el Perú, la Resolución Ministerial 312-2011-MINSA: Documento Técnico “Protocolos de Exámenes Médico Ocupacionales y Guías de Diagnóstico de los Exámenes Médicos Obligatorios por Actividad” establece un punto de partida en la evaluación para los trabajadores (1).

Dentro de este mismo documento se presentan exámenes complementarios específicos por actividad, con un listado de pruebas de acuerdo con el agente

de exposición. El tipo y la cantidad de pruebas por realizar deben ser determinados de acuerdo con el criterio técnico del médico ocupacional de la empresa que solicita la evaluación (1).

Esto implica que dependerá del nivel de preparación del personal médico el establecer una adecuada evaluación médica ocupacional, ya que, al no existir un protocolo específico de examen para expuestos a plomo, algunos trabajadores podrían no ser evaluados correctamente, obteniendo resultados que no permitan una vigilancia médica ocupacional adecuada, dificulten el desarrollo de medidas preventivas y de control correctas y faciliten el desarrollo de una enfermedad profesional.

Por lo tanto, la presente investigación permitirá conocer ¿cuál es la situación actual de la normativa y de los procedimientos de evaluación médica ocupacional en trabajadores expuestos a plomo en el Perú y en los principales países de Sudamérica?, brindando la oportunidad de analizar y actualizar la información sobre el proceso de evaluación médico ocupacional para los trabajadores expuestos a plomo en Perú, para compararla con procesos de evaluación que se realizan en países de Sudamérica.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es la situación actual de la normativa y de los procedimientos de evaluación médica ocupacional en trabajadores expuestos a plomo en el Perú y en los principales países de Sudamérica?

JUSTIFICACIÓN

Justificación teórica

El plomo es un metal pesado utilizado en múltiples procesos productivos y es reconocido como uno de los agentes tóxicos más dañinos para el trabajador.

En el ámbito laboral peruano, existe un importante número de trabajadores expuestos al plomo, donde los controles de exposición y evaluaciones de salud son insuficientes o inconsistentes. Además, y a pesar de tener un marco legal, persiste una brecha entre la normativa y la aplicación efectiva, generando riesgos tanto para la salud de los trabajadores, así como en el cumplimiento legal de las empresas. Por este motivo, el presente estudio contribuye a crear un marco conceptual que conecta los aspectos técnicos de la evaluación médica ocupacional con la fisiopatología del plomo, proporcionando una base científica para actualizar la normativa nacional.

Justificación práctica

Desde el enfoque práctico, la presente investigación permite identificar vacíos normativos, procedimientos de evaluación médica insuficientes a trabajadores expuestos y debilidades en la implementación de la vigilancia médica.

Esto puede ser el punto de partida para que tanto las autoridades como los profesionales dedicados al rubro de la salud ocupacional puedan desarrollar protocolos o mejorar el enfoque de los ya existentes, con la finalidad de tener resultados adecuados para ser usados en la vigilancia médica de los trabajadores, establecer medidas preventivas y de control pertinentes y evitar el desarrollo de enfermedades profesionales.

Justificación social

Desde el ámbito social, la presente investigación busca promover la salud de los trabajadores, teniendo en cuenta que la exposición a plomo no solo representa un problema médico individual, sino que también un problema de salud pública, con implicancias familiares y comunitarias.

Al fortalecer los procesos de evaluación médica en trabajadores expuestos, el Estado podrá reforzar su función reguladora y permitir que las empresas asuman una mayor responsabilidad social, al tiempo que se garantizan condiciones de trabajo seguras y saludables.

METODOLOGÍA

Se realizó una investigación cualitativa, de tipo revisión documental, con el objetivo de analizar y comparar la normativa y procedimientos de evaluación médica ocupacional en trabajadores expuestos a plomo en el Perú.

Fuentes de información

Se consultaron fuentes primarias y secundarias oficiales, incluyendo

- Legislación nacional vigente en el Perú (leyes, reglamentos, resoluciones ministeriales y guías técnicas de entidades competentes).
- Normas, reglamentos y guías técnicas de organismos oficiales de los países sudamericanos.
- Guías internacionales y documentos técnicos de referencia en salud ocupacional (NIOSH, ACGHI, OSHA, OIT)

- Publicaciones médicas indexadas (PubMed, SCOPUS, Redalyc, Google Académico) que aborden exposición ocupacional a plomo o evaluación médica ocupacional.

Antigüedad de información

Dado que el estudio era una revisión documental, no hubo restricciones temporales en cuanto a la inclusión de literatura científica. Se incluyeron, en su mayoría, publicaciones con hasta 5 años de antigüedad, sin embargo, también se incluyeron estudios con más de treinta años de antigüedad si demostraban fundamentos conceptuales o marcos normativos aún en uso en el campo de estudio. La selección se realizó en función de la importancia científica y la pertinencia documental, y no de la antigüedad cronológica de las publicaciones.

Estrategia de búsqueda

La búsqueda documental se realizó haciendo uso de descriptores en inglés y español como *toxicidad del plomo, exposición ocupacional, evaluación médica ocupacional, normativa laboral*.

Como criterios de inclusión se definieron los siguientes:

- Normas y documentos técnicos vigentes o actualizados hasta el 2024.
- Normas que regulen la vigilancia de salud de los trabajadores expuestos a plomo.
- Publicaciones que incluyan información específica sobre protocolos de evaluación médica ocupacional.

Como criterios de exclusión se definieron los siguientes:

- Publicaciones de exposición ambiental no ocupacional.
- Documentos sin acceso al texto completo.

Análisis de información

Luego de superar las fases de identificación, selección, elegibilidad e inclusión de artículos y documentos normativos relevantes, se realizó la lectura crítica de los artículos clasificados ordenándose de acuerdo con la pertinencia y enfoque metodológico, así como la relevancia normativa.

II. OBJETIVOS

1. Objetivo general

Analizar la situación actual de la normativa y los procedimientos de evaluación médico ocupacional en trabajadores expuestos a plomo en empresas en el Perú y en países de Sudamérica.

2. Objetivos específicos

- Reconocer la normativa de evaluación médica ocupacional en trabajadores expuestos al plomo en el Perú.
- Identificar los procedimientos de evaluación médica ocupacional en trabajadores expuestos al plomo en el Perú.
- Describir el proceso normativo y procedimental de la evaluación médica ocupacional en trabajadores expuestos al plomo en los principales países de Sudamérica.
- Comparar el proceso normativo y procedimental de la evaluación médica ocupacional en el Perú con la de los principales países de Sudamérica.
- Proponer recomendaciones para el fortalecimiento del proceso de evaluación médica en trabajadores expuestos a plomo.

III. DESARROLLO DEL ESTUDIO

1. EL PLOMO COMO AGENTE DE RIESGO

El plomo es un metal estable, de color gris azulado y blando que no se corroe. Incluso en niveles elevados, está presente en prácticamente todas las personas y se ha utilizado ampliamente (14).

Este metal está presente tanto en forma orgánica como inorgánica. La forma inorgánica se encuentra en pinturas, suelos, polvo y otros productos manufacturados. Su forma orgánica, el tetraetilo de plomo, se encuentra en los humos que se generan al quemar gasolina que contiene plomo. Dado que el cuerpo humano absorbe esta forma más fácilmente, es más dañina que la versión inorgánica (14). Gracias al Decreto Supremo N.º 034-2003-MTC, que prohibió el plomo en la gasolina en nuestro país en 2003, la contaminación por plomo orgánico ahora solo se encuentra en entornos laborales.

La Organización Mundial de la Salud incluyó el plomo en la lista de las diez sustancias que pueden tener un impacto negativo importante en la salud debido a su uso generalizado, lo que ha provocado una contaminación ambiental significativa y problemas de salud en muchas regiones del mundo (15).

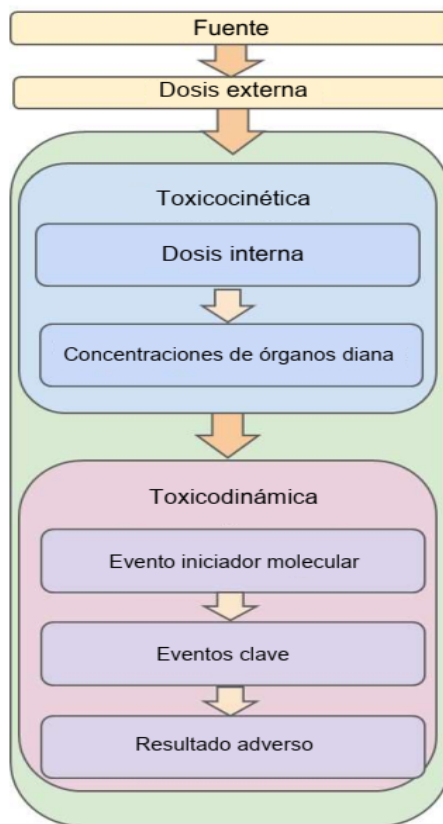
2. FISIOLÓGÍA DEL TRABAJADOR EXPUESTO A PLOMO

La exposición a plomo se produce a nivel ocupacional. Aunque su uso se ha ido interrumpiendo en diversos países, todavía puede encontrarse en diferentes industrias como la fabricación y reciclaje de baterías, la fundición, la reparación de automóviles entre otros.(5)

Para comprender el impacto en el organismo del trabajador expuesto es necesario conocer la toxicocinética (lo que el organismo hace con la sustancia), que comprende la absorción, la distribución, la fijación en órganos diana, la acumulación, el metabolismo y la excreción, y por otro lado conocer la toxicodinámica (lo que la sustancia le produce al cuerpo), que comprendería la toxicidad (Fig.01) (16).

Fig. 01 - Modo de acción de sustancias químicas en el organismo

Fuente: Adaptado de Cattaneo et al. 2023 (16)



2.1. Toxicocinética del plomo

El plomo puede entrar en el organismo de diversas formas, entre ellas a través del sistema respiratorio, el sistema digestivo y, en menor medida, la piel (17).

a. Absorción

En el organismo la absorción de plomo depende de una combinación de factores individuales y propiedades fisicoquímicas del plomo.

- **Factores individuales (3)**

Estado nutricional

- ♦ Deficiencia de calcio y hierro: a nivel intestinal se absorbe una mayor cantidad de plomo, ya que utiliza los mismos transportadores.
- ♦ Déficit de vitamina D: se disminuye la regulación del metabolismo óseo, facilitando el depósito de plomo en los huesos.

Edad y metabolismo

- ♦ La absorción de plomo a nivel intestinal es de 10-15% del ingerido en adultos, menor que en niños (40-50%).

Estado fisiológico y hormonal

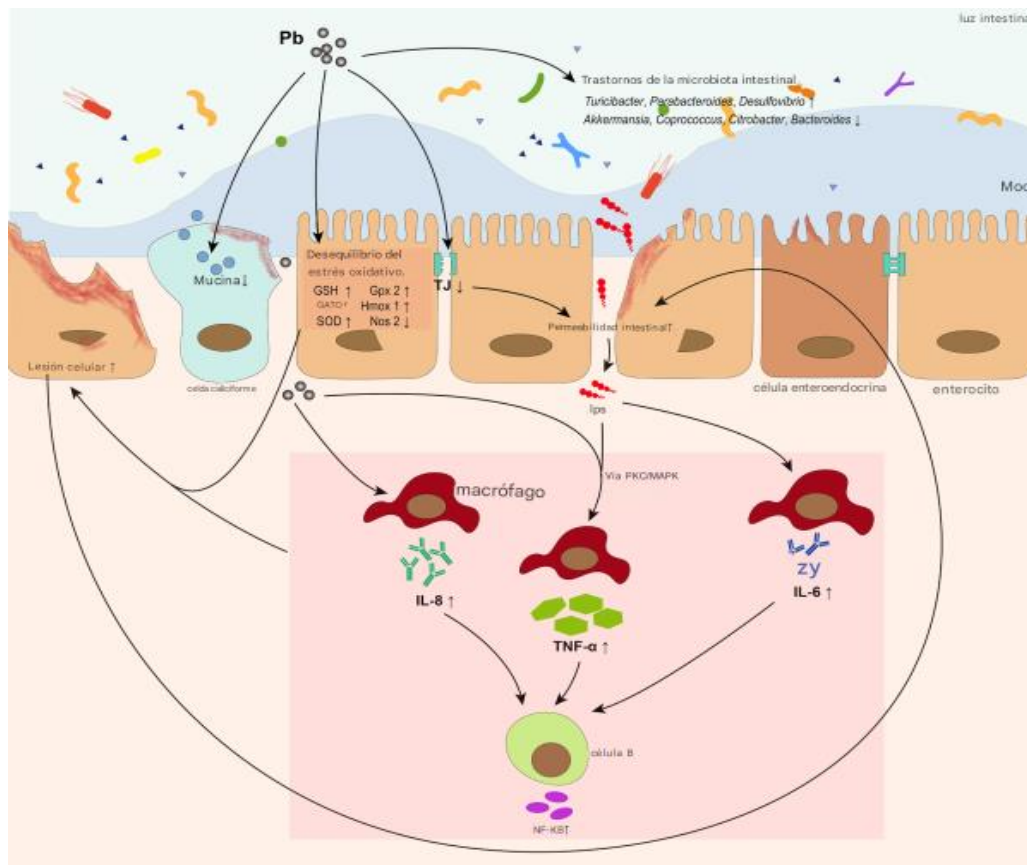
- ♦ Embarazo y menopausia: el incremento de la resorción ósea libera el plomo almacenado en los huesos hacia la sangre.
- ♦ Enfermedades hepáticas y renales: Reducen la eliminación del plomo.

Vía Digestiva

Si el ingreso se produce por vía intestinal, la eficacia de la absorción de plomo dependerá de distintos factores como la edad, el peso, el estado físico de la persona y de la ingesta alimentaria del individuo antes de la exposición (la absorción de plomo hidrosoluble se ve disminuido por el consumo de alimentos) (2,17,18) Esta absorción se suele dar principalmente a nivel del duodeno (2,18,19).

La exposición al plomo provoca una respuesta inflamatoria en el intestino, lo que altera la barrera intestinal y aumenta su permeabilidad (Fig. 02) (20).

Fig. 02 – Efectos en la barrera intestinal por exposición a plomo



Fuente: Yu et al. 2021 (20)

La absorción de plomo y de otros metales pesados a través del intestino se produce en 3 pasos. Primero el plomo se une a la mucosa luminal, aumentando su biodisponibilidad. Segundo, es transportado del lumen intestinal hacia el epitelio. Tercero, el metal difunde del epitelio hacia el torrente sanguíneo (20).

Vía Respiratoria

La inhalación de aerosoles puede provocar que el plomo inorgánico se deposite en los pulmones. Los principales mecanismos de deposición de partículas en las vías respiratorias se ven afectados por la forma y el tamaño de las partículas, la estructura anatómica de las vías respiratorias, el flujo de aire inspiratorio, las condiciones ambientales, como la temperatura o la humedad, y la capacidad mucociliar (21).

Partículas con tamaños mayores a 2,5 μm presentes a nivel nasofaríngeo y traqueobronquial pueden ser transferidas al esófago haciendo uso del movimiento mucociliar y luego deglutidas. Por otro lado, las partículas menores a 2,5 μm y mayores a 1 μm , se depositan en la región alveolar y pueden ser absorbidas por difusión o por fagocitosis, y las menores a 1 μm atraviesan la red alveolo capilar a la circulación sistémica (21,22).

Vía Dérmica

A comparación de la absorción por vía digestiva o inhalatoria, se considera que la absorción a través de la piel de compuesto inorgánicos de plomo es mucho menor (18).

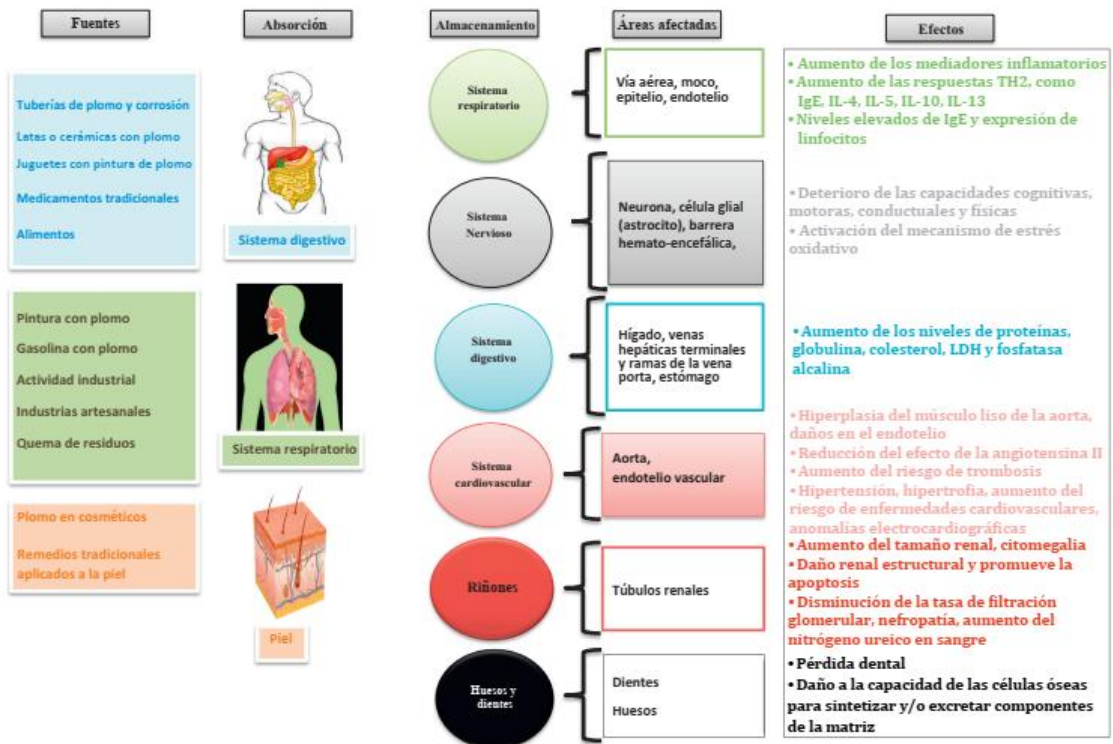
Algunos estudios muestran la presencia de plomo en la capa superficial del estrato córneo en trabajadores que manipulan baterías, luego de terminar su turno de trabajo y antes de lavarse (23), lo que sugiere la penetración dérmica del plomo.

b. Distribución

Es conocido que el nivel de plomo sanguíneo se incrementaba debido a diferentes factores como la edad, los procesos fisiológicos (embarazo, lactancia, menopausia), la exposición ocupacional y ambiental, entre otros (2).

Luego del ingreso del plomo al organismo, ya sea a través del tracto digestivo, respiratorio o dérmico, es ampliamente distribuido en el organismo e interfiere en varios procesos bioquímicos al unirse a grupos sulfhidrilos y otros grupos funcionales y contribuyendo al estrés oxidativo (2,4,5,24) (Fig. 03).

Fig. 03 Fuentes, absorción, almacenamiento y diversos efectos del plomo ambiental



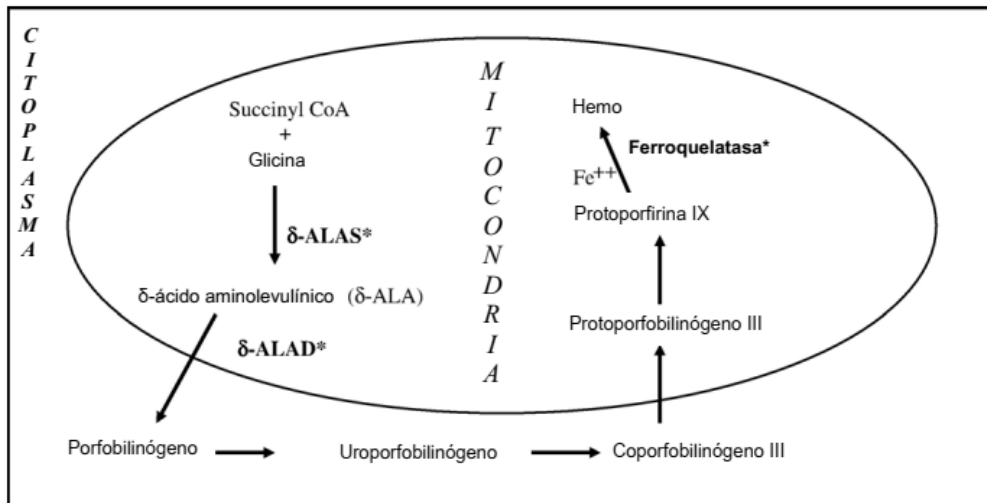
Fuente: Adaptado de Boskabady et al. (24)

Plomo en sangre

El plomo en sangre se encuentra principalmente dentro de los glóbulos rojos, que según estudios puede llegar hasta el 99% del total (2,24–26). El plomo es transportado hacia los eritrocitos por un intercambiador de aniones por transporte activo de ATP. Dentro de los eritrocitos, el plomo interactúa con varias proteínas intracelulares como el ácido delta-aminolevulínico deshidratasa (ALAD), una enzima que contiene zinc, con dos alelos (ALAD1 y ALAD2) y tres genotipos. ALAD es uno de los principales sitios de unión del plomo con los eritrocitos (27–30).

La acumulación de protoporfirina como resultado de la inhibición de la enzima ferroquelatasa inducida por el plomo, la inhibición directa de la ALAD por el plomo o la acumulación de ácido aminolevulínico (ALA) secundaria a la inhibición de la ALAD son algunos de los mecanismos que pueden estar implicados en la inducción de la ALAD. Estos mecanismos pueden estimular la síntesis de ALAD en las células de la médula ósea (Fig.04) (31,32).

Fig. 04 – Interacción del plomo en la vía biosintética del grupo hemo



* Actividad de enzimas inhibidas por el plomo

δ -ALAS: Delta-ácido aminolevulínico sintetasa , δ -ALAD: Delta-ácido aminolevulínico deshidratasa
Co A: Coenzima A

Fuente: Adaptado de Ahamed y Siddiqui (32)

Plomo en plasma

Se ha observado que el plomo existe en cuatro estados diferentes a nivel plasmático: complejos con ligandos de bajo peso molecular, como aminoácidos, débilmente unidos a la albúmina sérica, unidos a una metaloproteína circulante y como plomo libre (Pb^{+2}) (33).

El plomo libre (Pb^{+2}) representa un porcentaje muy pequeño del total de plomo plasmático (menor al 1%). Entre el 40-75% del plomo está unido a proteínas plasmáticas, siendo la albúmina la dominante, mientras que el plomo que no está unido a proteínas se encuentra formando complejos con compuestos de bajo peso molecular como cisteína u homocisteína (33).

Con un incremento del nivel de plomo en plasma y a medida que este satura los sitios de unión de los glóbulos rojos, una mayor fracción

del plomo, que en un inicio podía ser menor al 1% del total de plomo, estará disponible en el plasma y podrá distribuirse al cerebro u otros órganos diana (2,33) .

Plomo en el hueso

Más del 90% del volumen total corporal de plomo se encuentra a nivel óseo en los adultos (2,18,24,25,34,35). El recambio del plomo en los huesos de los adultos es lento, lo que puede deberse a que la concentración de plomo en los huesos aumenta con la edad (36). Los niveles de plomo en sangre pueden mantenerse durante mucho tiempo después de que haya finalizado la exposición, ya que el plomo que se encuentra en los huesos actúa como depósito para reponer el plomo plasmático que se elimina de la sangre a través de la excreción (37,38).

La hidroxiapatita constituye la matriz primaria del hueso, que básicamente es un compuesto formado por sal de fosfato de calcio. El plomo puede formar un complejo estable con el fosfato y puede sustituir al calcio en la hidroxiapatita (39).

Entonces, durante el proceso normal de mineralización presente en el crecimiento y remodelación óseos, se depositará plomo en el hueso; mientras que, durante el proceso de resorción ósea, se liberará plomo en la sangre (40). Un caso importante es el de la trabajadora gestante que ha sido expuesta al plomo (ya sea desde la niñez o de manera laboral), durante el embarazo experimenta una mayor reabsorción ósea para liberar calcio necesario para el desarrollo fetal.

Si la madre ha estado expuesta al plomo previamente, el plomo almacenado en sus huesos, también se libera al torrente sanguíneo y afectará al feto durante su formación y crecimiento (2).

c. Metabolismo

Plomo inorgánico

Durante el metabolismo se forman complejos que contienen ligandos proteicos y no proteicos. En los eritrocitos, el ALAD es el ligando intracelular principal, mientras que la albúmina es el ligando extracelular principal y los grupos sulfhidrilo son no proteicos. El plomo también puede combinarse con proteínas nucleares y del citosol para crear complejos (2,18).

Plomo orgánico

Los compuestos de plomo con el radical alquilo se metabolizan activamente en el hígado por desalquilación oxidativa por el citocromo P-450. Los estudios de trabajadores expuestos al tetraetilo de plomo han demostrado que se excreta en la orina como dietil-plomo, etil-plomo y plomo inorgánico (41).

Tras la exposición de los trabajadores a compuestos de tetraalquil-plomo, se detectaron metabolitos de trialquil-plomo en el hígado, riñón y cerebro (42).

d. Excreción

El plomo se elimina principalmente a través de la orina y las heces, y se encuentran cantidades menores en el sudor, la saliva, el cabello,

las uñas, la leche materna y los fluidos seminales, independientemente de la vía de exposición (18,24,43–47).

La medición del aclaramiento renal del plomo en plasma indica que el plomo sufre filtración glomerular y reabsorción tubular (48).

Algunos estudios determinaron que el aclaramiento renal de plomo se incrementa con valores de plomo sanguíneo superiores a 25 µg/dL (49), lo que podría implicar un cambio en la distribución del plomo en sangre hacia una fracción con una tasa de filtración glomerular más elevada, un mecanismo de capacidad limitada en la reabsorción tubular de plomo, o los efectos de la nefrotoxicidad inducida por el plomo durante su reabsorción (17).

Por otro lado, la excreción fecal representa la tercera parte de la excreción total de plomo absorbido y puede producirse por medio de la saliva, la bilis y el fluido gástrico (43,46).

3. EFECTOS SOBRE LA SALUD

3.1. Mecanismos de acción

Estos mecanismos implican distintos procesos, como la interferencia de distintas vías de señalización o el estrés oxidativo, que está presente en diferentes patologías inducidas por plomo (18).

a. Alteración de la homeostasis

El plomo ejerce sus efectos adversos mediante el desplazamiento de iones como hierro, zinc, magnesio, selenio, alterando procesos biológicos mediados por los propios iones o por enzimas o proteínas que requieren de estos para desempeñar su función (18,50–53).

Homeostasis del calcio

Produce la alteración de la homeostasis del calcio debido a su capacidad para desplazarlo, produciendo alteraciones de diferentes funciones celulares que dependen de calcio, como el metabolismo energético, la transducción de señales o la apoptosis (2,51).

Transporte de iones

Tiene la capacidad de interrumpir el transporte de iones importantes a través de la membrana celular disminuyendo la actividad de las ATPasas. Esta alteración del transporte incluye la bomba Na^+/K^+ -ATPasa, de Ca^{2+} y de Mg^{2+} -ATPasa (51).

Metabolismo energético celular

La alteración del metabolismo energético celular es producida por la acción sobre la función mitocondrial y sobre la vía de la glucólisis

(observado in vitro en osteoblastos y eritrocitos expuestos a plomo)(51).

Función de las proteínas

También juego un papel importante alterando las funciones de numerosas proteínas, mediante el desplazamiento de cofactores metálicos o la unión a grupos sulfhidrilo (2,51). Estas alteraciones pueden producir efectos adversos a nivel del sistema nervioso, hematológico, cardiovascular, entre otros.

Mediante el desplazamiento del calcio, el plomo puede alterar funciones de proteínas como la proteína quinasa C (interviene en el crecimiento, diferenciación y señalización celular), la calmodulina (interviene en el mantenimiento de la homeostasis del calcio y en la regulación de la señalización celular dependiente del calcio, en la integridad estructural y el mantenimiento del potencial de membrana), la osteocalcina, el poro de transición de permeabilidad mitocondrial (MTMP) y la NAD(P)H oxidasa, todas dependientes de calcio (51).

b. Estrés oxidativo

La exposición a plomo causa daño por estrés oxidativo en distintos órganos, incluyendo el cerebro, los riñones, corazón, órganos reproductores y eritrocitos, produciendo alteraciones neurológicas, cardiovasculares como la hipertensión y disminución de la fertilidad (32,51).

La inducción de estrés oxidativo se produce a través de distintos mecanismos, como el aumento de las especies reactivas de oxígeno (ROS) inhibiendo la síntesis de grupo hemo y la activación de la NAD(P)H oxidasa, alterando los lípidos y aumentando su susceptibilidad para la peroxidación lipídica y la depleción o inactivación de enzimas antioxidantes (32,51).

c. Inflamación

La respuesta inflamatoria inducida por el plomo puede ser causada por el aumento del estrés oxidativo por la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS) y por la depleción de las enzimas antioxidantes (2,51).

En las células musculares lisas vasculares, se ha evidenciado que el plomo activa la fosfolipasa A2, lo que permite estimular la liberación de ácido araquidónico, que conduce a aumentos en los niveles de prostaglandinas E2 y F2 y tromboxano (51).

La exposición a plomo también incrementa la producción de citoquinas mediante acción directa sobre los macrófagos para aumentar las citocinas proinflamatorias como el TNF- α y la interleucina 6 (IL-6), alterar la proporción de IL-12 a IL-10 que suprime las respuestas de los linfocitos Th-1 y estimula la respuesta de los linfocitos Th-2 (54).

d. Apoptosis

La apertura del poro de transición de permeabilidad mitocondrial (MTMP) y el desplazamiento de calcio hacia el espacio intracelular

se producen por intervención del plomo, iniciando de esta manera el primer paso del proceso de apoptosis mitocondrial. En linfocitos de humanos expuestos al plomo, se observó un incremento de la apoptosis, fragmentación del núcleo celular (cariorrhexis) y la disolución del núcleo (cariolisis). Otros tejidos también han mostrado un aumento de la apoptosis tras la exposición al plomo, como el hígado y los fibroblastos y macrófagos alveolares (2,51).

3.2. Efectos a nivel neurológico

Los mecanismos responsables de producir toxicidad a nivel del sistema nervioso más estudiados son el estrés oxidativo y la alteración de la homeostasis de calcio que produce problemas a nivel de señalización celular y de neurotransmisores (51,55).

La toxicidad del plomo produce daños por radicales libres y la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS), así como la disminución de los antioxidantes. Se une a los grupos sulfhidrilos funcionales de las enzimas y los inactiva, contribuyendo además a un deterioro del equilibrio oxidativo (55).

El plomo también actúa como sustituto de los iones de calcio, por lo que atraviesa rápidamente barrera hematoencefálica y se concentra en el cerebro. interfiriendo principalmente con el neurotransmisor glutamato, que es fundamental para el aprendizaje en el desarrollo cerebral (55,56).

Algunos estudios muestran que el plomo puede afectar prácticamente a todos los sistemas de neurotransmisores del cerebro, siendo los más resaltantes los glutamatérgicos, dopaminérgicos, colinérgicos y del ácido gamma-aminobutírico (GABA) (56).

Diversos estudios han encontrado que niveles de plomo en sangre en rango de 10-20 $\mu\text{g}/\text{dL}$, medidas durante la infancia o adultez, se han asociado con una disminución del volumen cerebral y cambios de la función neuromotora/sensorial (57,58).

Niveles mayores a 30 $\mu\text{g}/\text{dL}$ están asociados con una disminución del volumen cerebral, disminución de la función cognitiva, alteración del comportamiento y alteración de la función nerviosa e incluso síntomas psiquiátricos (depresión, trastornos de pánico, ansiedad, hostilidad, entre otros) (Tabla 01) (59–61).

Tabla 01 - Alteraciones neurológicas asociadas al nivel de plomo en sangre

VALORES DE PLOMO EN SANGRE	TIPO DE ALTERACIÓN
≤10 µg/dL	<ul style="list-style-type: none">• Disminución de la función cognitiva, la atención, la memoria y el aprendizaje.• Alteración de la función neuromotora y neurosensorial, disminución del tiempo de reacción y velocidad de la marcha.• Alteración del estado de ánimo y el comportamiento.
>10 µg/dL	<ul style="list-style-type: none">• Reducción del volumen cerebral y alteración de la neuroquímica cerebral.• Disminución de la función cognitiva.• Alteración de la función neuromotora y neurosensorial.• Disminución de la velocidad de conducción nerviosa periférica.

Fuente: Adaptado de la Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades – Perfil toxicológico del plomo (1)

La asociación entre la disminución de la función cognitiva y la exposición a plomo ha sido descrito en estudios como el realizado por Przybyla et al. en el 2017, en una población de 498 adultos mayores de 60 años, encontrando una asociación entre el nivel de plomo en sangre (media geométrica de 2,17 µg/dL) y la disminución de las puntuaciones en memoria a corto plazo (62).

La asociación entre exposición al plomo y síntomas depresivos fueron descritos por estudios realizados por Buser y Scinicariello en el 2017, por Golub et al. en el 2010 y por Bouchard et al. en el 2009 (63–65).

3.3.Efectos a nivel cardiovascular

El control de la función cardiovascular es un fenómeno multifactorial, por lo que es probable que varios mecanismos estén implicados en los efectos cardiovasculares inducidos por el plomo, siendo los más

resaltantes los efectos sobre el músculo liso vascular, incluyendo efectos constrictivos e interrupción del efecto vasodilatador propio del óxido nítrico (NO); aumento de la actividad del sistema nervioso simpático; alteración de la actividad de los quimiorreceptores; y alteración de la regulación del eje renina-angiotensina-aldosterona y del sistema de calicreína renal (51,55,66,67).

Diversos estudios aportan pruebas de la elevación de la presión arterial, aterosclerosis (aumento del engrosamiento de la íntima media y arteriopatía periférica), cardiopatías (infarto de miocardio, cardiopatía isquémica, hipertrofia ventricular izquierda, arritmias cardíacas y angina de pecho) y un mayor riesgo de mortalidad por enfermedades cardiovasculares (Tabla 02).

Tabla 02 - Alteraciones cardiovasculares asociadas al nivel de plomo en sangre

VALORES DE PLOMO EN SANGRE	TIPO DE ALTERACIÓN
≤10 µg/dL	<ul style="list-style-type: none"> • Elevación de la presión sistólica y diastólica • Mayor riesgo de hipertensión • Mayor riesgo de aterosclerosis • Mayor riesgo de alteraciones en la conducción eléctrica
>10 µg/dL	<ul style="list-style-type: none"> • Elevación de la presión sistólica y diastólica • Incremento de riesgo de hipertensión • Aterosclerosis • Incremento de riesgo de enfermedad cardíaca • Incremento en la mortalidad por enfermedad cardiovascular

Fuente: Adaptado de la Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades – Perfil toxicológico del plomo (1)

Un metaanálisis realizado por Nawrot et al, en el 2002, incluyó un total de 31 estudios y 58518 personas, donde estimaron un aumento de la presión sistólica en 1 mmHg y de la presión diastólica en 0,6 mmHg al duplicar el nivel de plomo en sangre (68).

Otros estudios evaluaron la relación entre el nivel de plomo en sangre y el incremento de la presión arterial en poblaciones estratificadas por sexo, raza o edad, como fue el caso del estudio realizado por Bushnik et al. en el 2014, encontraron una asociación positiva entre el nivel de plomo en sangre y el aumento de la presión sistólica en hombres, pero no en mujeres (69).

Con respecto a la asociación con aterosclerosis, un estudio realizado por Muntner et al. en el 2005, encontró una asociación positiva entre la enfermedad arterial periférica con niveles de plomo en sangre $\geq 2,47$ µg/dL (70).

Otros estudios han encontrado asociación con alteración de la función o enfermedad cardíaca. Jain et al. en el 2007 encontraron que un aumento de 1 desviación estándar en el nivel de plomo en sangre se asoció con un incremento de 1,27 veces en el riesgo de cardiopatía isquémica (71).

3.4.Efectos a nivel renal

Los mecanismos de daño renal asociados a la exposición al plomo incluyen al estrés oxidativo, la inflamación, la apoptosis de las células glomerulares y tubulares, alteraciones de los gangliósidos renales (lípidos de la membrana plasmática que intervienen en el control de la filtración glomerular), cambios en el tono vascular renal y alteraciones en el sistema renina-angiotensina-aldosterona (51).

El plomo al ser eliminado principalmente a nivel renal produce nefrotoxicidad como consecuencia de la exposición al mismo. Este es excretado mediante filtración glomerular y secreción tubular, teniendo un transporte bidireccional a través del epitelio tubular con un aclaramiento que oscila entre 1 y 3 ml/min y es relativamente independiente de la función renal (55).

La exposición aguda al plomo afecta negativamente a los túbulos renales y provoca defectos generalizados en el transporte de solutos y aminoácidos en los túbulos renales dando lugar a un síndrome de Fanconi. La exposición crónica al plomo puede dar lugar a una nefritis tubulointersticial progresiva, caracterizada por leucocitos, fibrosis intersticial y atrofia tubular (Tabla 03) (72).

Tabla 03 - Alteraciones renales asociadas al nivel de plomo en sangre

VALORES DE PLOMO EN SANGRE	TIPO DE ALTERACIÓN
≤10 µg/dL	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de la tasa de filtración glomerular • Proteinuria • Desarrollo de enfermedad renal crónica
>10 µg/dL	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de la tasa de filtración glomerular • Proteinuria • Enzimuria • Alteraciones del transporte tubular • Daño histopatológico

Fuente: Adaptado de la Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades – Perfil toxicológico del plomo (1)

En un estudio realizado por Yu et al. en el 2004, observaron que los adultos con enfermedad renal crónica, al exponerse a una mayor dosis de plomo desarrollaban un rápido deterioro de la función renal y la terapia de quelación ralentizaba la progresión de la enfermedad renal crónica en comparación con los controles (73).

Otro estudio realizado por Wang et al. en el 2002, observaron una relación dosis-efecto del nivel de plomo con el nitrógeno ureico y el ácido úrico en la sangre en trabajadores de fábricas de baterías de plomo, con mayores efectos adversos en niveles de plomo en sangre >60 mg/dL (74).

3.5.Efectos a nivel hepático

A comparación de estudios realizados en otros sistemas, pocos han investigado los efectos del plomo a nivel hepático. El estrés oxidativo a través de las especies reactivas de oxígeno (ROS) puede producir una

alteración de la función y originar daños histopatológicos en el hígado, incluyendo peroxidación de las membranas lipídicas (Tabla 04) (51).

Tabla 04 - Alteraciones hepáticas asociadas al nivel de plomo en sangre

VALORES DE PLOMO EN SANGRE	TIPO DE ALTERACIÓN
>10 µg/dL	<ul style="list-style-type: none">• Elevación de enzimas hepáticas plasmáticas• Incremento del colesterol total• Hepatomegalia y aumento del grosor de la pared vesicular.

Fuente: Adaptado de la Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades – Perfil toxicológico del plomo (1)

Un estudio realizado por Conterato et al. en el 2013, encontraron una elevación de la aspartato aminotransferasa (AST) en pintores con una media de plomo en sangre de 5,4 µg/dL, pero no observaron el incremento de la AST en trabajadores de baterías que tenían una media de plomo en sangre de 49,8 µg/dL, en comparación con los controles que tenían una media de plomo en sangre de 1,5 µg/dL (75).

En el 2019, Chen et al. encontraron un incremento de la gamma-glutamyl transpeptidasa (GGT) en pobladores con una media de plomo en sangre de 8,7 µg/dL en comparación de los controles, que tenían una media de plomo en sangre de 5,1 µg/dL. Tampoco observaron efectos para la ALT o AST (76).

3.6.Efectos a nivel respiratorio

El aumento del estrés oxidativo por la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS), tiene la capacidad de producir daño tisular, inflamación, liberación de metabolitos y citoquinas, siendo un

mecanismo plausible para la causa del daño respiratorio. Esta inflamación es observable en el asma y la hiperreactividad bronquial (51).

Para valores de plomo en sangre en rangos menores a 10 µg/dL y mayores a 50 µg/dL, algunos estudios mostraron efectos en trabajadores expuestos en relación con controles, o asociación entre el nivel de plomo en sangre y alteración de las pruebas de función pulmonar indicativas de enfermedad pulmonar obstructiva, mayor hiperreactividad bronquial (indicativo de asma), síntomas de enfermedad respiratoria (tos, dificultad para respirar), y mayor riesgo de enfermedades respiratorias (Tabla 05) (77–81).

Tabla 05. Alteraciones respiratorias asociadas al nivel de plomo en sangre

VALORES DE PLOMO EN SANGRE	TIPO DE ALTERACIÓN
≤10 µg/dL	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de la función pulmonar • Aumento de la hiperreactividad bronquial • Aumento del riesgo de asma y enfermedad pulmonar obstructiva, evaluado en algunos estudios con resultados variados
>10 µg/dL	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de la función pulmonar. • Síntomas de enfermedad respiratoria (tos, dificultad para respirar). • Aumento del riesgo/prevalencia de asma; evaluado en algunos estudios con resultados variados.

Fuente: Adaptado de la Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades – Perfil toxicológico del plomo (1)

Un estudio realizado por Chung et al. en el 2015, donde observaron una asociación inversa entre una media de plomo en sangre de 2,50 $\mu\text{g/dL}$ con la relación FEV1/FVC en una población, lo que podría indicar el desarrollo de una enfermedad pulmonar obstructiva (79).

En el 2013, Rokadia y Agarwal encontraron riesgo de enfermedad pulmonar obstructiva en una en 9575 personas con una media de plomo en sangre de 1,73 $\mu\text{g/dL}$ (80).

En el 2008, Min et al. encontraron el incremento de la reactividad bronquial usando metacolina en una población adulta con una media de plomo en sangre de 2,96 $\mu\text{g/dL}$ (81).

4. ACTIVIDADES ASOCIADAS A LA EXPOSICION AL PLOMO

En la industria, el plomo tiene diferentes aplicaciones, se utiliza de forma líquida y como consecuencia genera polvo, vapores o humos; dependiendo de la operación que se realice (82).

4.1.Exposición por ingesta

En el ámbito ocupacional, la ingesta constituye una vía importante de exposición, principalmente en actividades que generan polvo o residuos contaminados. La exposición ocurre principalmente por transferencia de las manos a la boca, que se produce a través de manos, superficies o alimentos contaminados en el lugar de trabajo. El riesgo de absorción gastrointestinal en el personal expuesto aumenta por factores como comer en las áreas de trabajo, no practicar una buena higiene y no implementar medidas de control (51).

4.2.Exposición por inhalación

La inhalación representa la segunda vía principal de exposición al plomo. A diferencia de la ingestión, donde solo se absorbe entre el 20% y el 70% del plomo, casi todo el plomo inhalado se asimila en el organismo (2).

En ciertos sectores industriales, la inhalación continúa siendo la principal vía de exposición al plomo, especialmente para aquellos adultos que participan en actividades de renovación y reparación de viviendas (14).

4.3.Exposición cutánea

La exposición a la piel puede representar un riesgo para aquellos que laboran en la industria del plomo, aunque no se considera una vía significativa de exposición para la población en general. El plomo orgánico, como el tetrametilo de plomo, tiene una mayor capacidad de ser absorbido a través de la piel en comparación con el plomo inorgánico (51).

4.4.Exposición endógena

La exposición interna al plomo puede influir de manera significativa en los niveles de plomo en sangre, representando un riesgo considerable para los fetos en desarrollo. Cabe mencionar que, una vez absorbido por el organismo, el plomo puede permanecer almacenado durante largos periodos en los dientes y los huesos. Este plomo acumulado se puede liberar nuevamente al torrente sanguíneo, especialmente en situaciones como la deficiencia de calcio que puede ocurrir durante el embarazo, la lactancia o en casos de osteoporosis (2,5).

4.5.Puestos de trabajo asociados a exposición

Los puestos de trabajo asociados a la exposición al plomo pueden clasificarse en operaciones de riesgo elevado y de moderado riesgo, para esta clasificación se considera las características, intensidad de exposición, duración de exposición. Así las actividades de elevado riesgo son donde el plomo metálico o inorgánico es calentado formando aerosoles y grandes cantidades de humos. (82,83).

Operaciones de riesgo elevado

- Elaboración de compuestos antidetonantes en la gasolina.
- Metalurgia, minería del plomo y otras actividades asociadas
- Recuperación de chatarra, baterías que contengan plomo
- Fabricación de baterías
- Fabricación y manipulación de arseniato de plomo como insecticida
- Fabricación de pigmentos (pinturas, esmaltes y barnices) a base de sales y óxido de plomo

Operaciones de moderado riesgo

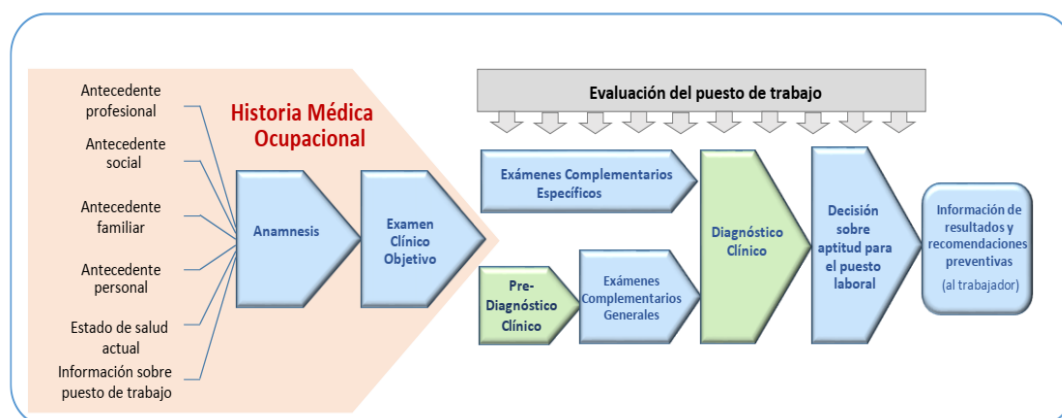
- Fabricación de municiones de plomo
- Trabajadores de demolición, especialmente raspado, quemado de materiales recubiertos con pintura de plomo.
- Fabricación de cables y refilados.

5. EVALUACIÓN MÉDICA OCUPACIONAL DEL TRABAJADOR EXPUESTO AL PLOMO

La evaluación médica ocupacional es un proceso sistemático mediante el cual se valora el estado de salud físico y mental del trabajador expuesto al plomo. Su finalidad es evaluar la aptitud de la persona para el puesto de trabajo al que será asignado, identificar posibles restricciones médicas para tareas específicas, detectar precozmente la presencia de problemas de salud relacionados al trabajo y prevenir el desarrollo de enfermedades ocupacionales (84–86).

Este proceso de evaluación los componentes presentados en la Fig. 05.

Fig. 05 - Componentes de la evaluación médico ocupacional



Fuente: Traducido y Adaptado de la Guía Técnica N°2: Vigilancia de trabajadores expuestos a agentes químicos CMR / PNSOC (85)

5.1. Historia médico ocupacional

La historia médico ocupacional está dirigida a conocer la historia laboral del trabajador y la relación de su salud con los riesgos propios de su ambiente de trabajo. Por tal motivo, es importante para la detección de

enfermedades ocupacionales y permite abarcar los accidentes laborales desde un punto de vista de salud (84).

Existen métodos con preguntas estandarizadas para poder confeccionar una adecuada historia ocupacional (87,88). Estas preguntas comprenden las siguientes condiciones:

- Tipo de trabajo realizado.
- Relación de los problemas de salud con el trabajo.
- La sintomatología varía entre el trabajo y el hogar.
- Exposición a agentes (químicos, físicos) y factores de riesgo (ergonómicos o psicosociales)
- Presencia de otros trabajadores del área con síntomas similares.

Se considera que una o más respuestas afirmativas sugieren que dichos síntomas guardan relación con el ambiente de trabajo, por lo que se debería buscar más detalles de estas (87).

Para el caso de la exposición a plomo, se buscará información en 2 momentos, en la evaluación preocupacional y en la periódica.

Preocupacional

Se debe indagar sobre posibles exposiciones pasadas a plomo y otros agentes químicos que pueden afectar al sistema nervioso central, sistema hematopoyético, además de compromiso hepático o renal (82). Se dará énfasis a los antecedentes de puestos anteriores, como el tipo de puesto, tiempo de exposición y uso de equipos de protección personal.

Periódica

Se debe recopilar información sobre el puesto laboral y las actividades propias del mismo, tiempo y frecuencia de exposición, uso de equipos de protección personal y medidas de higiene industrial (ducha al terminar el turno, ropa de trabajo exclusiva, monitoreo periódico del agente) (84,88).

5.2.Historia médica personal

Se indaga sobre información correspondiente a antecedentes médicos, haciendo énfasis en enfermedad neuropsiquiátrica, hematológica, renal, cardiovascular o hepática, alergias, consumo de medicamentos, antecedente de vacunación, consumo de alcohol, tabaquismo, que podrían influir en la respuesta del trabajador a la exposición a plomo, así como antecedentes ambientales como el lugar de procedencia (82,88).

5.3.Evaluación de sintomatología

Preocupacional

En la evaluación inicial se busca determinar la presencia de síntomas que podrían incrementarse o agravarse debido a la exposición o que tendrían relación con antecedentes de exposición a plomo (1,82).

Periódica

En una evaluación periódica se busca que determinar la aparición de síntomas relacionados a exposición a plomo, como cefalea, dolor abdominal, náuseas y vómitos alteración de la memoria y la concentración, parestesias, debilidad muscular, entre otros (82).

5.4.Exploración clínica

Preocupacional

Se debe realizar una exploración corporal general, siendo más minucioso al evaluar piel y faneras, sistema cardiovascular, respiratorio, neurológico y región abdominal, ya que comprometen órganos diana que puede ser alterados por la exposición a plomo (1,82).

Periódico

A nivel de piel se debe valorar la coloración, a nivel gingival se debe buscar la presencia del ribete de Burton, la exploración cardiovascular debe comprender una adecuada toma de la presión arterial, la evaluación respiratoria debe ser minuciosa en caso de uso de equipos de protección respiratoria, la evaluación neurológica debe evaluar el equilibrio, la fuerza, los reflejos osteotendinosos y la sensibilidad (82).

5.5.Pruebas funcionales

Las pruebas funcionales son un componente importante de las evaluaciones médicas ocupacionales porque ofrecen información importante sobre el funcionamiento del organismo de los trabajadores y ayudan a detectar cualquier daño o consecuencia negativa que pueda derivarse de la exposición al plomo (82,88).

Este tipo de pruebas cuentan con las siguientes características:

- Permiten identificar alteraciones menores en el funcionamiento de un órgano o sistema antes de que se presenten síntomas clínicos.
- Brindan información sobre daño por exposición continua de algún órgano, mediante la realización de evaluaciones periódicas.

- Ofrecen resultados cuantificables.
- Permiten la toma de decisiones para continuidad, la para o la reubicación de un trabajador afectado.

Pruebas de función hematológica

a. Hemograma

El plomo interfiere con la síntesis del grupo hemo al inhibir enzimas como la ácido delta-aminolevulínico deshidratasa (ALAD) y la ferroquelatasa, lo que podría producir anemia. Esta prueba permitirá establecer el nivel de hemoglobina, reticulocitos y los volúmenes corpusculares (51).

b. Frotis de sangre periférica

Evalúa la morfología de los glóbulos rojos, buscando la presencia de punteado basófilo, que es una característica de intoxicación por plomo (51,82).

Pruebas de función renal

El plomo al ser eliminado principalmente a nivel renal produce nefrotoxicidad como consecuencia de la exposición al mismo (55).

Esto implica que debe existir un adecuado control de la función renal mediante el dosaje de marcadores en sangre.

a. Creatinina

Es un producto de desecho de los músculos que es eliminado a nivel renal. Los niveles se elevan cuando los riñones resultan dañados por la exposición a sustancias nefrotóxicas, lo que provoca su acumulación y deterioro de la función renal (89).

b. Nitrógeno ureico en sangre

Es una medida del contenido de urea en la sangre. El organismo produce urea resultado del metabolismo de las proteínas, que luego es eliminada vía renal. El aumento de los niveles en sangre puede dar señales de alguna alteración a nivel renal (89).

Algunos estudios observaron una relación dosis-efecto del nivel de plomo con el nitrógeno ureico y el ácido úrico en la sangre en trabajadores con valores de plomo en sangre por encima de >60 mg/dL (74).

Pruebas de función neurológica

Uno de los sistemas más afectados por la exposición a plomo es el neurológico, diversos estudios han encontrado asociación entre la disminución de la función cognitiva, alteración del comportamiento y del estado de ánimo, de la función neurosensorial y motora, así como la disminución del volumen cerebral (57,58).

Por tal motivo, la evaluación de la función neurológica representa un momento muy importante dentro del proceso, que debe incluir:

- Equilibrio y coordinación
- Fuerza muscular
- Sensibilidad
- Reflejos
- Atención y memoria

Se puede solicitar la realización de electromiografía en casos donde se presenten signos de alteración de conducción nerviosa como parestesia, o dolor.

Pruebas de función cardiovascular

Diversos estudios han mostrado el desarrollo de diferentes patologías cardiovasculares como la hipertensión arterial, aterosclerosis o problemas de conducción nerviosa (68–71,90–93). Por lo que un estudio adecuado de la función cardiovascular resulta importante. Dentro de las pruebas a solicitar se deben considerar:

- Electrocardiograma
- Prueba de esfuerzo
- Ecocardiograma: reservar para trabajadores con hallazgos de hipertensión o alteración de la conducción
- Perfil lipídico

Pruebas de función hepática

Estas pruebas miden la funcionalidad e integridad del hígado, por lo que su alteración puede brindar un indicio de alguna alteración hepática (94).

Las pruebas de función hepática incluyen varios exámenes que miden los niveles de enzimas hepáticas, bilirrubina y proteínas en la sangre.

Si bien el plomo no causa una hepatotoxicidad primaria, es recomendable realizar pruebas hepáticas para identificar comorbilidades o exposición combinada con otros agentes hepatotóxicos (10).

a. Enzimas hepáticas

Algunos estudios realizados a nivel hepático en trabajadores expuestos encontraron la elevación de Alanina Aminotransferasa (ALT), Aspartato Aminotransferasa (AST) y gamma-glutamil transpeptidasa (GGT) (75,76), por lo que es recomendable su dosaje.

Pruebas de función respiratoria

a. Espirometría

A nivel respiratorio, la prueba más utilizada para evaluar la función pulmonar es la espirometría. Esta prueba calcula el volumen espirado forzado en un segundo (FEV1), o la cantidad de aire que puede espirarse en un solo intento, y la capacidad vital forzada (CVF), o la cantidad total de aire que puede espirarse tras una inspiración profunda. La función pulmonar se evalúa mediante la correlación entre el FEV1 y la CVF.

Si bien pocos estudios han valorado efectos respiratorios asociados al incremento de plomo en sangre (77–81), se recomienda que se realice este tipo de prueba a trabajadores que estén expuestos a material particulado o vapores con presencia de plomo, como en la minería o en la industria.

Biomarcadores de exposición

Los biomarcadores utilizados actualmente son mediciones de los niveles totales de plomo en fluidos corporales como la sangre, la orina, saliva y el sudor; y los tejidos como el hueso, dientes, cabellos y uñas.

De estos, el nivel de plomo en sangre se considera como el más fiable para uso clínico y vigilancia de salud (2).

a. Plomo en sangre (Pb-B)

El valor de plomo en sangre es el resultado de la diferencia entre el plomo absorbido por el cuerpo y el plomo depositado en órganos diana más el eliminado en la orina y las heces, por lo que se convierte en un indicador que muestra el nivel de exposición reciente, en lugar de la cantidad total de plomo en el organismo o la gravedad de los cambios metabólicos (2).

A diferencia de la cantidad de plomo en el cuerpo, que puede seguir aumentando con la exposición, el nivel de plomo en sangre alcanza rápidamente una meseta. Aunque el nivel de plomo en sangre desciende cuando el trabajador deja de estar expuesto, el plomo que se ha acumulado en el cuerpo puede seguir teniendo efectos peligrosos durante un tiempo (82).

b. Plomo en orina (Pb-U)

Al igual que en sangre, la excreción urinaria de plomo refleja principalmente la exposición reciente y, por lo tanto, comparte muchas de las mismas limitaciones para evaluar la cantidad corporal de plomo o la exposición a largo plazo. Aunque la recogida de orina no es invasiva, los niveles de plomo en la orina muestran variabilidad con el plomo sanguíneo y a la vez, la interpretación de los niveles de plomo en la orina requiere estimaciones de la TFG y la medición del volumen de orina (2).

Biomarcadores de efecto

Estos biomarcadores detectan las alteraciones que se verifican en el órgano diana tras la absorción.

a. Ácido delta-aminolevulínico deshidratasa (ALA-D)

Esta enzima es extremadamente sensible al plomo, que la inhibe fuertemente desde etapas tempranas y provoca la acumulación de ácido delta-aminolevulínico (ALA). La disminución de la actividad de esta enzima se produce antes que cualquier otro cambio metabólico. Para que el ALA, comience a acumularse y aumente su excreción en la orina (ALA-U), la acción inhibidora debe afectar al menos al 80 % de las reservas de esta enzima en el organismo (2).

Tras retirar a un trabajador de la exposición al plomo, los niveles de ALA-D suelen volver gradualmente a la normalidad en proporción inversa al plomo en sangre. Dado que incluso la más mínima cantidad de plomo en el lugar de trabajo reduce drásticamente su actividad, la ALA-D es demasiado sensible como indicador para un control frecuente de acuerdo con las directrices actuales sobre la exposición aceptable al plomo en situaciones laborales (82).

b. Ácido delta-aminolevulínico urinario (ALA-U)

El plomo inhibe a la enzima ALA-D y estimula la ALA sintetasa, lo que provoca la acumulación de ALA y la excreción más frecuente de ALA-U en la orina. Se ha demostrado que la excreción urinaria de este indicador está correlacionada con el nivel de plomo

metabólicamente activo en el organismo, lo que puede ser útil para determinar la cantidad de plomo movilizable antes de iniciar la terapia de quelación (2).

Las concentraciones de plomo en sangre y orina disminuyen más rápidamente que los valores de ALA-U después de que finaliza la exposición al plomo. Esto permite utilizar el ALA-U como indicador para saber cuándo un trabajador regresa de la exposición(82).

c. Protoporfirina eritrocitaria de zinc (ZPP) y la protoporfirina eritrocitaria libre (EP)

En situaciones en las que se absorbe plomo, la protoporfirina eritrocitaria de zinc (ZPP) y la protoporfirina eritrocitaria libre (EP) aumentan y se unen al zinc. La ZPP comienza a aumentar en condiciones de exposición continua cuando el nivel de plomo en sangre alcanza los 35-40 $\mu\text{g}/\text{dL}$. Los indicadores ZPP y plomo sanguíneo no reaccionan al componente temporal de la misma manera, a pesar de su asociación. A diferencia de la ZPP, que tarda más en estabilizarse, los niveles de plomo en sangre de un trabajador reflejan instantáneamente los cambios en los niveles de exposición, de uno más alto a uno más bajo (82).

Como resultado, la única forma de comprender el riesgo individual es combinar una prueba que mida el nivel de exposición con otra que evalúe el impacto, especialmente en lo que respecta a la interferencia metabólica del plomo. Mientras que la ZPP proporciona información

sobre el efecto y facilita la evaluación de la carga corporal y la exposición previa, los niveles de plomo en sangre permiten evaluar tanto la dosis interna como la exposición actual (82).

6 NORMATIVA DE EVALUACIÓN MÉDICA OCUPACIONAL EN EL PERÚ

En el Perú, la evaluación médica ocupacional está regulada por diversas normativas que buscan proteger la salud de los trabajadores expuestos al plomo.

Dentro de las cuales tenemos que considerar.

6.1 Ley N°29783 - Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo

Esta ley establece las obligaciones del empleador en cuanto a la seguridad y salud en el trabajo. Entre sus disposiciones, se incluye la realización de exámenes médicos antes, durante y al término de la relación laboral, acorde con los riesgos específicos del puesto, como la exposición al plomo (95). También establece la periodicidad de la realización de estas evaluaciones, siendo de un (01) año para empresas de alto riesgo (consideradas dentro del Decreto Supremo N°008-2022-SA)

Aspectos Claves

- Los trabajadores expuestos a plomo deben someterse a exámenes médicos ocupacionales obligatorios, conforme al reglamento de la ley.
- Se requiere la realización de exámenes médicos preocupacionales, periódicos y de retiro para evaluar el impacto de la exposición a agentes químicos como el plomo.

- La normativa establece la responsabilidad del empleador de garantizar la salud de los trabajadores expuestos a riesgos laborales.

6.2 Decreto Supremo N°024-2016-EM – Reglamento de Seguridad y Salud en Minería

Dado que la minería es una de las principales industrias con exposición a plomo, este reglamento establece medidas de seguridad específicas para los trabajadores del sector (96).

Aspectos Claves

- **Límite de exposición ocupacional al plomo:** El reglamento fija el Límite de Exposición Ocupacional para el plomo en 0.05 miligramos por metro cúbico de aire (mg/m^3) durante una jornada laboral de ocho horas (96). Este límite se aplica tanto en minas subterráneas como en depósitos de concentrados de minerales.
- **Monitoreo de la exposición al plomo:** Se requiere la realización de muestreos semanales de la exposición ocupacional al plomo en trabajadores seleccionados aleatoriamente dentro de los depósitos de concentrados. Estos muestreos deben asegurar que las concentraciones de plomo no excedan el límite establecido de 0.05 mg/m^3 (97). Esto de acuerdo con lo estipulado en el Decreto Supremo N°015-2005-SA “Reglamento sobre Valores Límite Permisibles para Agentes Químicos en el Ambiente de Trabajo”.
- **Almacenamiento y manipulación de concentrados:** Los depósitos donde se almacenen y/o manipulen concentrados de

mineral, especialmente aquellos ubicados cerca de zonas portuarias, deben contar con techos y paredes, así como con sistemas de control que eviten la emisión de material particulado al ambiente exterior. Esta medida busca minimizar la dispersión de plomo y proteger tanto a los trabajadores como al entorno.

6.3 Resolución Ministerial 312-2011-MINSA - Documento Técnico “Protocolos de Exámenes Médico Ocupacionales y Guías de Diagnóstico de los Exámenes Médicos Obligatorios por Actividad”

Esta resolución regula los procedimientos para realizar exámenes médicos ocupacionales en el Perú (1).

Aspectos claves

- Establece los lineamientos técnicos y procedimientos para la vigilancia de la salud de los trabajadores expuestos a diversos factores de riesgo, incluyendo agentes químicos como el plomo.
- Define los exámenes médicos obligatorios que deben realizarse en función de la actividad económica y el tipo de exposición laboral.

6.4 Resolución Ministerial 400-2017-MINSA – “Manual de Atención de Personas Expuestas a Plomo”

Esta resolución aprueba la modificación de la "Guía de Práctica Clínica para el Manejo de Pacientes con Intoxicación por Plomo" establecida por la Resolución Ministerial N°511-2007-MINSA (12), proporcionando lineamientos actualizados para la atención de personas expuestas en situaciones laborales y no laborales.

La norma establece los valores de referencia para la exposición a plomo en sangre (13) de la siguiente manera:

- Niños y gestantes: menor de 10 $\mu\text{g/dL}$.
- Adultos no expuestos ocupacionalmente: menor de 20 $\mu\text{g/dL}$.
- Trabajadores expuestos ocupacionalmente: menor de 40 $\mu\text{g/dL}$.

Su finalidad es proporcionar a los profesionales de la salud directrices claras para la prevención, diagnóstico, tratamiento y seguimiento de personas expuestas al plomo, con el fin de minimizar los riesgos y efectos adversos en la salud.

7 PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN MÉDICA EN TRABAJADORES EXPUESTOS A PLOMO EN EL PERÚ

En nuestro país, la Resolución Ministerial 312-2011-MINSA mediante un documento técnico establece los protocolos de exámenes médico ocupacionales obligatorios por actividad (1).

Establece que la evaluación médico ocupacional debe contener los siguientes elementos:

7.1 Evaluación clínica

Esta evaluación se desarrolla a través de la Ficha de Evaluación Médica Ocupacional, donde se ingresan los datos de filiación del trabajador, antecedentes ocupacionales, personales, familiares, el examen físico, las conclusiones de los exámenes complementarios, los diagnósticos y el grado de aptitud final (1).

7.2 Evaluación psicológica

Esta evaluación se desarrolla a través de la Ficha Psicológica Ocupacional, donde se ingresan los datos de filiación del trabajador, antecedentes ocupacionales, personales, familiares, hábitos, el examen mental que evaluará la conducta y los procesos cognitivos, haciendo uso de diferentes pruebas psicológicas validadas, así como las conclusiones y recomendaciones (1).

7.3 Exámenes complementarios

Se centran en conocer el estado de salud al ingreso del trabajador y cualquier cambio que ayude a la detección precoz de una enfermedad

relacionada con el trabajo o estados prepatológicos (1). Se deben incluir como mínimo:

a. Exámenes generales

Se establece una lista de pruebas que se deberían solicitar de base a todos los trabajadores.

- Biometría sanguínea
- Bioquímica sanguínea (no se precisa qué exámenes están comprendidos dentro de este grupo)
- Grupo y factor sanguíneo
- Examen de orina

b. Exámenes específicos

Son exámenes complementarios que se solicitan de acuerdo con el agente de riesgo identificado en el puesto de trabajo.

- Audiometría
- Espirometría
- Radiografía de tórax
- Pruebas toxicológicas

c. Exámenes médicos obligatorios por actividad

Además de los criterios técnicos del médico ocupacional, deben realizarse exámenes complementarios específicos, que son obligatorios y acorde con las Guías Técnicas aprobadas por el Ministerio de Salud (1).

Para el caso de exposición a plomo, y toda actividad relacionada con su extracción o manipulación, así como todos los productos

que pudieran contenerlos, la Guía indica como referencia la realización de los siguientes exámenes:

- Plomo en sangre.
- Zinc Protoporfirina en sangre (ZPP)
- Ácido delta-aminolevulínico (ALA) en orina.

Al terminar de realizar todo el procedimiento de evaluación y teniendo los resultados de exámenes solicitados se procederá a indicar el grado de aptitud laboral.

El grado de aptitud final se calificará de la siguiente manera:

- **Apto:** Trabajador clínicamente sano o con hallazgos que no limitan el normal desarrollo de su labor en el puesto de trabajo.
- **Apto con restricciones:** trabajador puede realizar su actividad laboral habitual con ciertas limitaciones para no poner en riesgo su seguridad o disminuir su rendimiento.
- **No apto:** Trabajador que por hallazgos clínicos no puede realizar las funciones propias del puesto laboral, o que estas impliquen un gran riesgo para su seguridad.

8 VIGILANCIA DE LA SALUD DEL TRABAJADOR EXPUESTO AL PLOMO

La vigilancia de la salud de los trabajadores hace referencia a una serie de acciones, en las que participan tanto personas como organizaciones, orientadas a prevenir riesgos laborales, teniendo como finalidad el identificar problemas de salud y evaluar las medidas preventivas (85,86).

El principal objetivo de la vigilancia de la salud es comprender mejor cómo afecta el trabajo a la salud de los trabajadores, permitiendo obtener datos que sirvan de base para tomar decisiones sobre cómo mejorar las condiciones de trabajo. Por otro lado, la vigilancia permite la detección precoz de los efectos adversos en la salud física y mental, con el propósito de detener el desarrollo de problemas de salud más graves (86).

Muchos países han desarrollado procedimientos de vigilancia de salud de los trabajadores, que siguen un orden y comprenden etapas importantes (85,88). La mayoría de estos procedimientos están enfocados a la exposición de productos químicos, por lo que pueden ser utilizados para la exposición a plomo.

8.1 Análisis inicial de riesgo

Previo al inicio de la actividad laboral, se debe realizar un análisis de riesgo de exposición a plomo, que comprenda la identificación de fuentes y procesos de exposición (soldadura, fundición, reciclaje de baterías, pinturas, entre otros), vías de exposición (inhalación de polvo o humos, ingestión por manos contaminadas o contacto dérmico)(86).

En el Perú, el análisis de riesgo está normado principalmente por la Ley N°29783 y su reglamento contenido en el Decreto Supremo 005-2012-TR, donde se establece la obligación del empleador de implementar un sistema de gestión que incluya la identificación de peligros, evaluación de riesgos y medidas de control. Esta evaluación debe actualizarse por lo menos una vez al año, cuando se introduzcan cambios o cuando ocurran incidentes relevantes (95). Adicionalmente, se cuenta con el Decreto Supremo 003-2017-MINAM, que considera dentro de su Estándar de Calidad Ambiental para Aire, una concentración de plomo de $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como promedio anual. Este estándar se aplica al plomo contenido en partículas de diámetro menor o igual a 10 micrómetros (PM10) (97).

Por su lado la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA) a través del estándar 29 CFR 1910.1025 establece la necesidad de realizar la evaluación inicial de exposición a plomo en aire cuando se supera el nivel de acción de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con un Límite de Exposición Permisible (PEL) de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para un Promedio Ponderado en el Tiempo (TWA) de 08 horas (9).

Por otra parte, el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH) recomienda un enfoque preventivo haciendo uso de la jerarquía de controles, estableciendo un Valor Recomendado de Exposición (REL) de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para un Promedio Ponderado en el Tiempo (TWA) de 10 horas (98).

De acuerdo con la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH), Valor Límite Umbral (TLV) para plomo es de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para un Promedio Ponderado en el Tiempo (TWA) de 08 horas (Tabla 06) (8).

Tabla 06 – Comparación de valores de exposición al plomo

	Perú	ACGIH	NIOSH	OSHA
Plomo en aire ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ TWA: -	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ TWA – 8 horas	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ TWA – 10 horas	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ TWA – 8 horas

Fuente: Elaboración propia

La evaluación de riesgo debe considerar también factores como la frecuencia y duración de la exposición, la susceptibilidad individual y la eficacia de los controles existentes.

8.2 Identificación de trabajadores expuestos y determinación del contexto de exposición

La identificación de los trabajadores expuestos constituye una medida crítica para definir las estrategias de vigilancia médica y control preventivo. Esta exposición puede ocurrir por inhalación de polvo o humo, por vía dérmica o ingestión indirecta (contaminación cruzada en áreas de alimentación o descanso). Para definir a un trabajador como expuesto, se debe considerar la frecuencia e intensidad de la exposición, así como las condiciones operativas de la empresa (85,86).

La normativa peruana indica que se deben establecer medidas de protección, control y vigilancia médica a todo trabajador expuesto a agentes peligrosos. Esta identificación debe ser parte de la matriz

IPEC (Identificación de peligros, evaluación de riesgos y controles), así como el desarrollo de un mapa de riesgos por puesto y área de trabajo (95).

Por su parte, la OSHA define como expuesto al trabajador que realiza sus funciones en un ambiente con un nivel de acción de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para una jornada de 08 horas (9), mientras que la NIOSH recomienda que se considere expuesto a todo trabajador con riesgo de contacto directo o incidental con fuentes de plomo (98).

Para calificar el contexto de la exposición se deben considerar la frecuencia de exposición (constante u ocasional), duración (tiempo efectivo de la exposición por jornada), tipo de contacto (directo o indirecto), vía de exposición y forma de presentación del plomo.

8.3 Exámenes médicos

Los exámenes médico ocupacionales constituyen una herramienta fundamental en el proceso de vigilancia de salud de trabajadores. Su objetivo principal es la detectar los efectos tóxicos tempranamente, prevenir complicaciones a largo plazo, establecer la aptitud laborar para tomar decisiones y aplicar acciones correctivas (1).

La normativa peruana establece que a todo trabajador expuesto a plomo (agentes químicos) se le debe realizar un examen médico al ingreso, durante y al retiro, estableciéndose una periodicidad de 01 año (95). Dicha evaluación debe ser realizada teniendo como base lo indicado en la RM 312-2011-MINSA, teniendo como mínimo la realización de un

examen clínico y pruebas hematológicas, de función hepática y renal, y dosaje de plomo en sangre (1).

Por otra parte, la OSHA establece que, si un trabajador tiene una exposición nivel de acción de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para una jornada de 08 horas, debe ingresar a un programa de vigilancia médica que incluya la historia clínica ocupacional, evaluación clínica minuciosa (sistema neurológico, cardiovascular, renal y gastrointestinal, además del estado pulmonar si se usa protección respiratoria) y pruebas de laboratorio que incluyan plomo en sangre, zinc protoporfirina en sangre, hemograma y pruebas de función renal (9).

NIOSH considera que los efectos en la salud pueden producirse incluso con niveles de plomo en sangre menores a $10 \mu\text{g}/\text{dL}$ y propone que se inicie vigilancia cuando se detecten valores de plomo en sangre mayor a $5 \mu\text{g}/\text{dL}$ y recomienda el retiro del trabajador si el valor de plomo en sangre se encuentra por encima de $30 \mu\text{g}/\text{dL}$ sostenidamente (Tabla 07) (98).

Tabla 07 – Comparación de criterios de evaluación médica en trabajadores expuestos a plomo

Criterio	Perú (Ley 29783 / RM 312-2011-MINSA RM 400-2017-MINSA/)	OSHA (29 CFR 1910.1025)
Exámenes preocupacionales	Obligatorios	Obligatorios si exposición > 30 días/año
Exámenes periódicos	Anuales; o más frecuentes si riesgo es alto	Cada 6 meses Cada 2 meses si Pb-B > 40 µg/dL
Exámenes de retiro	Obligatorios	No se menciona
Plomo en sangre (Pb-B)	Obligatorio	Obligatorio
Zinc protoporfirina (ZPP)	Obligatorio	Obligatorio
Umbral para retiro de exposición	Pb-B ≥ 40 µg/dL	Pb-B ≥ 60 µg/dL o media ≥ 50 µg/dL

Fuente: Elaboración propia

8.4 Control y prevención

Para reducir la exposición al plomo en el lugar de trabajo, las medidas de control y prevención son fundamentales. De acuerdo con la jerarquía de controles, se debe dar prioridad a las acciones que eliminan o reducen el riesgo en su origen frente a los controles administrativos o el uso de equipos de protección personal (EPP). Basándose en un seguimiento continuo y en la identificación previa de riesgos, un sistema eficaz integra medidas técnicas, organizativas y conductuales (86).

Esto puede incluir cambios a nivel de control de ingeniería como ventilación por extracción y reducción de polvo; controles administrativos como rotación de personal, establecimiento de horarios alternos, reducción del tiempo de exposición, planes de control notificados a los trabajadores y capacitaciones; el uso de equipos de protección personal como respiradores con filtro HEPA, guantes y gafas (85,86).

9 EVALUACION MEDICO OCUPACIONAL DEL TRABAJADOR EXPUESTO A PLOMO EN SUDAMÉRICA

En Sudamérica se han realizado distintos estudios en poblaciones de trabajadores expuestos a plomo. Estas nos dan un alcance del problema de la exposición y la necesidad de revisar la normativa de los diferentes países de la región (Tabla 08).

Tabla 08 – Estudios realizados en poblaciones laborales expuestas a plomo en Sudamérica

País	Año	Población	N° de trabajadores	Plomo en sangre promedio ($\mu\text{g/dL}$)	Autor / Estudio
Perú	2024	Mineros	340	3,4 $\mu\text{g/dL}$	Pumallanqui-Ramírez et al. (99)
Perú	2008	Trabajadores de fábricas informales de baterías	41	37,7 $\mu\text{g/dL}$	Ramírez (100)
Brasil	2021	Alfareros	E: 85 NE: 50	Expuestos (7,9 $\mu\text{g/dL}$) No expuestos (1,5 $\mu\text{g/dL}$)	Bandeira et al. (101)
Brasil	2003	Trabajadores de fábrica metalúrgica	E: 195 C: 65	Control (5,4 \pm 3,9 $\mu\text{g/dL}$) Servicios Generales (25,1 \pm 9,1 $\mu\text{g/dL}$) Mantenimiento (28,5 \pm 9,8 $\mu\text{g/dL}$) Laboratorio (23,1 \pm 7,6 $\mu\text{g/dL}$) Sinterización (36,7 \pm 9,8 $\mu\text{g/dL}$)	Menezes et al. (102)
Argentina	2021	Trabajadores formales e informales	F: 204 I: 48	62.1 $\mu\text{g/dL}$	Berduc et al. (103)
Argentina	2013	Trabajadores de fábrica de ensamble de baterías	9	19,23 $\mu\text{g/dL}$	Bilotta et al. (104)
Chile	2006	Tecnólogos médicos y técnicos paramédicos	12	7,0 $\mu\text{g/dL}$	González et al. (105)
Uruguay	2006	Trabajadores de fábrica de ensamble de baterías	47	Al inicio: 48,9 $\mu\text{g/dL}$ Al cierre: 29,4 $\mu\text{g/dL}$	Laborde et al. (106)

Venezuela	2007	Operarios de estaciones de servicio	E: 65 C: 21	Expuestos (8,37±2,89 µg/dL) Controles (1,52±0,96 µg/dL)	Molina et al. (107)
Colombia	2022	Recicladores informales de baterías	E: 60 NE: 60	Expuestos (50,59 ± 15,50 µg/dL) No expuestos (3,59 ± 0,98 µg/dL)	Diaz et al. (108)
Ecuador	2021	Trabajadores de fábrica de baterías	E: 198 NE: 21	Expuestos (16.22±6.82 µg/dL) No expuestos (0.68±0.15 µg/dL)	Rivera y Pernía (109)

Fuente: Elaboración propia

9.1 Brasil

En Brasil se cuenta con la Norma Reguladora N°7 (NR-7) que precisa que los empleadores deben implementar un Programa de Control Médico de Salud Ocupacional (PCMSO). Este programa contempla la realización de exámenes médicos de acuerdo con el riesgo de exposición de los trabajadores. Estos exámenes se realizan al ingreso, periódicos (para trabajadores expuestos a riesgos identificados cada año o a intervalos más cortos), de retiro, de reincorporación y de cambio de puesto (11).

Si bien la norma no establece un protocolo específico para exposición laboral a plomo, si contempla para el caso de exposición a plomo inorgánico, el reconocimiento médico que comprende un examen clínico y evaluaciones complementarias (plomo en sangre y ácido delta aminolevulínico en sangre). La norma tampoco menciona qué otros exámenes complementarios se deben solicitar. Para plomo en sangre consideran valores por debajo de 60 µg/dL, estableciendo el retiro de exposición en mujeres en edad fértil con valores superiores a 30 µg/dL (11).

9.2 Argentina

En Argentina se cuenta con la Guía de Actuación y Diagnóstico de Enfermedades Profesionales para exposición a plomo de la Superintendencia de Riesgos del Trabajo, que establece que para trabajadores con niveles de plomo en sangre mayores a 30 µg/dL (110), se debe realizar:

- Historia clínica ocupacional
- Hemograma y hierro sérico
- Perfil hepático
- Examen completo de orina
- Ácido úrico en sangre
- Urea y creatinina
- Electromiografía si el nivel de plomo en sangre es mayor a 40 $\mu\text{g/dL}$ y/o existan signos de neuropatía

Además, la misma guía establece un flujograma de evaluación donde indica que trabajadores con valores de plomo en sangre por encima de 30 $\mu\text{g/dL}$, deben ser retirados de la exposición, con controles mensuales de plomo en sangre hasta normalización (valor de plomo en sangre menor a 30 $\mu\text{g/dL}$, sin síntomas y sin alteraciones de laboratorio). Para el caso de la mujer trabajadora en edad fértil, la guía establece no superar el valor límite recomendado de 10 $\mu\text{g/dL}$ (10,110).

9.3 Chile

En Chile se cuenta con la Resolución Exenta N°606-2023 del Ministerio de Salud, que establece el protocolo de vigilancia ocupacional por exposición a metales y metaloides con lineamientos para la implementación de la vigilancia ambiental y de la salud de los trabajadores expuestos (111). Este protocolo establece una periodicidad de la evaluación de 03 años, donde se debe realizar una evaluación médica orientada a descartar daño neurológico, hepático y renal, por lo que las pruebas que comprende son las siguientes:

- Hemograma completo
- Creatinina
- Perfil hepático
- Como marcador de exposición, se mide plomo en sangre cada 6 meses

9.4 Uruguay

En Uruguay se cuenta con la Ley 17744 que establece normas para la prevención y control de la exposición a plomo a nivel ocupacional, donde se indica la realización del examen de plomo en sangre de acuerdo con el nivel de exposición, teniendo que para actividades de exposiciones altas, se realizará de manera semestral en trabajadores operativos y anual para trabajadores administrativos, en exposición moderada se realizará de manera anual en trabajadores operativos y cada 18 meses en trabajadores administrativos, mientras que para actividades de exposición baja se realizará cada 24 meses (112).

Adicionalmente Ordenanza 145.009 del Ministerio de Salud Pública, establece un esquema de evaluación para trabajadores expuestos a factores de riesgo físico, estableciendo el plomo en sangre como medida estándar para esta exposición, teniendo como valor de referencia 30 µg/dL (8,113).

9.5 Paraguay

En Paraguay se cuenta con el Decreto 14390/92 que establece la obligatoriedad de realizar exámenes médicos de ingreso y periódicos a

los trabajadores, en intervalos de 6 meses para operaciones peligrosas o ambientes insalubres, y de 12 meses para operaciones no peligrosas. También indica una lista de exámenes generales a realizarse, sin embargo, no detalla pruebas ni valores referenciales para trabajadores expuestos a plomo (114).

9.6 Bolivia

En Bolivia se cuenta con la Resolución Administrativa 0153/2022, que aprueba la norma técnica donde se establecen procedimientos tanto preventivos como de manejo para exposición laboral y no laboral a plomo (115). La norma dispone la aplicación de exámenes de ingreso y periódicos, teniendo en cuenta los siguientes elementos:

- Antecedentes médicos y laborales
- Examen clínico (énfasis en control de la presión arterial)
- Plomo en sangre
- Zinc protoporfirina
- Hemoglobina, hematocrito y reticulocitos
- Examen de orina
- Creatinina
- Otras pruebas de acuerdo con hallazgos

Se establece el cambio de puesto de trabajo de acuerdo con la concentración de plomo en sangre.

- Mayor a 60 µg/dL en 3 últimas muestras.
- Mayor a 50 µg/dL en 6 últimos meses.

- Riesgo de sufrir alguna alteración en salud.

Y el retorno al trabajo con 2 mediciones consecutivas de plomo en sangre menores a 40 $\mu\text{g/dL}$ (9,115).

9.7 Venezuela

En Venezuela se cuenta con la Norma COVENIN 2277:2001 que establece medidas de higiene ocupacional para la exposición a plomo. La norma dispone la aplicación de exámenes de ingreso, periódicos y de retiro (116). Dentro de la evaluación debe contener la historia clínica ocupacional, examen físico y perfil básico de laboratorio, debiendo realizarse por lo menos cada 6 meses.

La monitorización biológica se hace mediante plomo en sangre, haciendo uso de los valores recomendados por la ACGIH, que sería de 30 $\mu\text{g/dL}$ (8,116) y protoporfirina de zinc (ZPP).

9.8 Colombia

En Colombia se cuenta con la Resolución 2346-2007 del Ministerio de la Protección Social, que establece los requisitos generales para la realización de exámenes médicos ocupacionales de ingreso, periódicos, de reincorporación y de cese. Además, indica que se deben realizar evaluaciones específicas de acuerdo con los factores de riesgo a los que esté expuesto el trabajador, haciendo uso de los valores recomendados por la ACGIH, que sería de 30 $\mu\text{g/dL}$ (8,117). La normativa colombiana no establece un protocolo de evaluación específicos para trabajadores expuestos.

9.9 Ecuador

En Ecuador se cuenta con la Norma de Salud y Seguridad para la Exposición Laboral al Plomo del Instituto de Seguridad Social, donde se establece un valor límite permisible en aire de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (8,9), retirando de la exposición al trabajador con valores de plomo en sangre por encima de $40 \mu\text{g}/\text{dL}$ (118). Esta norma precisa 2 tiempos dentro del proceso de vigilancia en salud.

a. Examen preocupacional

- Examen clínico
- Plomo en sangre
- Zinc protoporfirina
- Hemoglobina, hematocrito y reticulocitos
- Examen de orina
- Creatinina

b. Examen periódico

Se contempla un monitoreo biológico con estadios que establecen niveles de plomo en sangre y las medidas de control establecidas.

La norma contempla que se debe retirar de la exposición a trabajadores con niveles de plomo por encima de $40 \mu\text{g}/\text{dL}$ (estadio III) y se establece un subsidio hasta su recuperación a estadio II (Tabla 09).

Tabla 09 – Estadios y medidas de control en trabajadores expuestos a plomo

Indicador	I	II	III	IV
Plomo en sangre ($\mu\text{g}/\text{dl}$)	< 30 $\mu\text{g}/\text{dl}$	30-40 $\mu\text{g}/\text{dl}$	41-70 $\mu\text{g}/\text{dl}$	>70 $\mu\text{g}/\text{dl}$
Zinc protoporfirina ($\mu\text{g}/\text{dl}$)	<30 $\mu\text{g}/\text{dl}$	30-110 $\mu\text{g}/\text{dl}$	111-170 $\mu\text{g}/\text{dl}$	>170 $\mu\text{g}/\text{dl}$
Control individual	Semestral	Trimestral	Retirar de exposición hasta que nivel sea menor a 40 $\mu\text{g}/\text{dl}$	Retirar de exposición hasta que nivel sea menor a 40 $\mu\text{g}/\text{dl}$
Control ambiental	Ninguno	Control del ambiente	Mejora tecnológica y ambiental	Mejora tecnológica y ambiental

Fuente: Norma de Salud y Seguridad para la Exposición Laboral al Plomo del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (107)

En general, en Sudamérica existe normativa que establece protocolos específicos de evaluación de trabajadores expuestos a plomo, así como otras que solo mencionan de manera general la exposición, y algunas que no especifican ningún proceso de evaluación, como se ve resumido en la Tabla 09.

Tabla 09 – Normativas de países de Sudamérica y protocolos de evaluación para trabajadores expuestos a plomo

País	Norma/Guía Aplicable	Tipo de Evaluación Médica	Exámenes Recomendados	Límite de Plomo en Sangre	Medidas según niveles	Observaciones
Perú	RM 511-2007-MINSA RM 312-2011-MINSA RM 400-2017-MINSA	Ingreso, periódico, retiro, reincorporación, cambio de puesto	Biometría y bioquímica sanguínea, examen de orina, plomo en sangre, Zinc Protoporfirina, ácido delta-aminolevulínico (ALA)	40 µg/dl	Medidas diferenciadas por estadios para exposición no laboral	No hay protocolo específico para plomo en trabajadores expuestos
Brasil	Norma Reguladora N°7 (NR-7) - PCMSO	Ingreso, periódico, retiro, reincorporación, cambio de puesto	Clínico, plomo en sangre, ácido delta-aminolevulínico (ALA)	< 60 µg/dl (retiro si >30 µg/dl en mujeres en edad fértil)	No se especifican medidas por niveles	No hay protocolo específico para plomo, pero se reconoce como riesgo
Argentina	Guía de actuación y diagnóstico de enfermedades profesionales - SRT	Basada en nivel de exposición >30 µg/dl	Historia clínica, hemograma, hierro sérico, perfil hepático, orina completa, ácido úrico, urea, creatinina, electromiografía (>40 µg/dl con síntomas)	Límite para retiro: ≥30 µg/dl; mujeres fértiles: <10 µg/dl	Control mensual hasta normalización <30 µg/dl sin síntomas	Incluye flujograma de actuación y retiro de exposición

Chile	Resolución Exenta N°606-2023 y D.S. 594/00	Cada 3 años (evaluación médica y biomonitoreo semestral)	Si Plomo en sangre es: < 40 µg/dl, Pb semestral - > 40 µg/dl, Retiro de exposición laboral y en 45 días repetir Pb. Hemograma, creatinina, perfil hepático,	40 µg/dl	Especifica retiro y medidas progresivas	Protocolo incluye vigilancia ambiental y de salud
Uruguay	Ley 17774 Decreto 307/009	Preocupacional y periódica	De acuerdo con nivel de exposición Plomo en sangre semestral (personal operativo) Plomo en sangre anual (personal administrativo)	30 µg/dl	No se especifican medidas por niveles	No hay protocolo específico para plomo, pero se reconoce como riesgo
Paraguay	Decreto 14390/92	Preocupacional y periódica	Biometría sanguínea, bioquímica sanguínea, radiografía de tórax	No establecido	No se especifican medidas ni monitoreo progresivo	No hay protocolo específico para plomo, pero se reconoce como riesgo
Bolivia	Resolución Administrativa 0153/2022	Preocupacional y periódica	Clinico, plomo en sangre, protoporfirina de zinc, hemoglobina, orina, creatinina	30 µg/dl	Se especifican de retorno al trabajo y cambio de puesto	Incluye manejo de intoxicación aguda y crónica
Venezuela	Norma COVENIN 2277:2001	Ingreso, periódico, retiro,	Historia clínica ocupacional, examen físico y perfil básico de laboratorio, plomo en sangre y protoporfirina de zinc	30 µg/dl	No se especifican medidas por niveles	No hay protocolo específico para plomo

Colombia	Resolución 2346-2007	Ingreso, periódicos, reincorporación, cese	Según riesgo, valores ACGIH (plomo en sangre)	30 µg/dl	No se especifican medidas ni monitoreo progresivo	No hay protocolo específico para plomo
Ecuador	Norma del IESS sobre exposición al plomo	Preocupacional y periódica	Clínico, plomo en sangre, zinc protoporfirina, hemoglobina, orina, creatinina	Retiro si >40 µg/dl	Medidas diferenciadas por estadios	Tabla específica con frecuencia de control y acciones ambientales

Fuente: Elaboración propia

IV. CONCLUSIONES

En el presente estudio se llegaron a las siguientes conclusiones:

1. El análisis de la normativa y de los procedimientos de evaluación médico ocupacional en trabajadores expuestos a plomo permitió evidenciar que, si bien Perú cuenta con un marco legal vigente, este presenta limitaciones respecto a la estandarización de procedimientos y definición de criterios uniformes para la vigilancia médico ocupacional.
2. Se determinó que la normativa peruana de evaluación médico ocupacional establece lineamientos generales, que dificulta una adecuada valoración clínica, de laboratorio y el seguimiento médico en la población laboral expuesta.
3. Se identificó que los procedimientos de evaluación médico ocupacional presentan variabilidad en su ejecución, lo que genera diferencias en su periodicidad, selección de exámenes complementarios y criterios de interpretación clínica.
4. A nivel de Sudamérica existen diferencias en normativas y procedimientos, de los más estructurados como Ecuador o Argentina, hasta los países con poco desarrollo como Colombia o Paraguay.
5. La comparación realizada entre Perú y los otros países Sudamericanos permitió identificar diferencias normativas y operativas relacionadas con la actualización de los valores de referencia, la vigilancia preventiva y la aplicación de medidas de intervención temprana frente a la exposición.

6. El fortalecimiento del proceso de evaluación médica requiere de la implementación de un sistema de evaluación continua, que permita medir la efectividad de los procedimientos y el cumplimiento de las medidas preventivas implementadas.

V. RECOMENDACIONES

1. Fortalecer la vigilancia ocupacional mediante la actualización y mejora de la normativa vigente, incorporando protocolos estandarizados de evaluación médica para trabajadores expuestos.
2. Impulsar el desarrollo de un protocolo específico de evaluación médica ocupacional para trabajadores expuestos a plomo por parte de las autoridades competentes como el Ministerios de Salud y Ministerio del Trabajo.
3. El diseño de un protocolo específico debe considerar la periodicidad de evaluaciones, los exámenes obligatorios, el monitoreo y criterios uniformes de interpretación de resultados en trabajadores expuestos.
4. Fomentar la cooperación e intercambio de buenas prácticas a nivel de Sudamérica, mediante el establecimiento de alianzas técnicas con países de la región que cuenten con marcos normativos desarrollados como Argentina, Ecuador o Brasil, para lograr adaptar y aplicarlas contexto nacional.
5. Promover procesos de estandarización normativa regional, que permita actualizar los valores límite biológicos y fortalecer los mecanismos de prevención e intervención temprana en trabajadores expuestos.
6. Implementar un sistema de evaluación continua del proceso de vigilancia médica en trabajadores expuestos, mediante indicadores de desempeño que permitan evaluar la efectividad de las intervenciones realizadas e identificar brechas en la aplicación de protocolo.

VI. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

1. Ministerio de Salud. Documento Técnico «Protocolos de Exámenes Médico Ocupacionales y Guías de Diagnóstico de los Exámenes Médicos obligatorios por Actividad» [Internet]. Resolución Ministerial N° 312-2011-MINSA. 25 de abril de 2011. Disponible en: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/272673/243792_RM312-2011-MINSA.pdf20190110-18386-1dlpmyt.pdf
2. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for lead [Internet]. 2020. Disponible en: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp13.pdf>
3. Organización Mundial de la Salud (OMS). Directriz de la OMS para el tratamiento clínico de la exposición al plomo [Internet]. oct/21. Disponible en: <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789240037045>
4. Kim HC, Jang TW, Chae HJ, Choi WJ, Ha MN, Ye BJ, et al. Evaluation and management of lead exposure. *Annals of Occupational and Environmental Medicine*. 2015;27(1). doi:10.1186/s40557-015-0085-9
5. Wani AL, Ara A, Usmani JA. Lead toxicity: a review. *Interdisciplinary Toxicology*. 2015;8(2). doi:10.1515/intox-2015-0009
6. Centro para el Control y Prevención de Enfermedades (CDC). Lead in the Workplace [Internet]. 2024 [citado 10 de octubre de 2024]. *Blood*

Lead Level Guidance. Disponible en:
<https://www.cdc.gov/niosh/lead/bll-reference/index.html>

7. Rivera K, Pernía B. Determinación de los niveles de plomo en sangre en trabajadores de fábricas de baterías ubicadas en Guayaquil-Ecuador. 2021.
8. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. The Threshold Limit Values (TLVs) and Biological Exposure Indices (BEIs). En. Cincinnati, USA: ACGIH; 2024. p. 65.
9. Occupational Safety and Health Administration (OSHA). Lead standard 29 CFR 1910.1025. Washington DC: OSHA; 1978.
10. Lombardo G. Guía de actuación y diagnóstico de enfermedades profesionales - Exposición a plomo. Superintendencia de Riesgos del Trabajo - Ministerio de Producción y Trabajo, Argentina; 2018.
11. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora NR-7: Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional. Portaria GM n.º 3.214/1978. 1978.
12. Ministerio de Salud. “Guía de Práctica Clínica para el Manejo de Pacientes con intoxicación por Plomo” [Internet]. Resolución Ministerial N.º 511-2007-MINSA. 15 de junio de 2007. Disponible en:
https://www.sis.gob.pe/ipresspublicas/normas/pdf/minsa/GUIASPRACTICAS/2007/RM511_2007.pdf

13. Ministerio de Salud. Documento técnico: «Manual de atención de personas expuestas a plomo» [Internet]. Resolución Ministerial N° 400-2017-MINSA. 25 de mayo de 2017. Disponible en: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/190050/189541_RM_40-2017.PDF20180823-24725-1rvnvk0.PDF
14. Poma PA. Intoxicación por plomo en humanos. *An Fac med.* junio de 2008;69(2):120-6. doi:10.15381/anales.v69i2.1155
15. Pérez Bueno T, Novas AJ, Díaz Padrón H, Cabrera Guerra C, Villalba Rodríguez L, Pérez Bueno T, et al. Evaluación biológica de la exposición laboral al plomo. *Revista Cubana de Salud Pública.* marzo de 2021;47(1).
16. Cattaneo I, Kalian AD, Di Nicola MR, Dujardin B, Levorato S, Mohimont L, et al. Risk Assessment of Combined Exposure to Multiple Chemicals at the European Food Safety Authority: Principles, Guidance Documents, Applications and Future Challenges. *Toxins.* 4 de enero de 2023;15(1):40. doi:10.3390/toxins15010040
17. Rădulescu A, Lundgren S. A pharmacokinetic model of lead absorption and calcium competitive dynamics. *Sci Rep.* 2 de octubre de 2019;9(1):14225. doi:10.1038/s41598-019-50654-7
18. Jomova K, Alomar SY, Nepovimova E, Kuca K, Valko M. Heavy metals: toxicity and human health effects. *Arch Toxicol.* 2025;99(1):153-209. doi:10.1007/s00204-024-03903-2 PubMed PMID: 39567405; PubMed Central PMCID: PMC11742009.

19. Mushak P. Gastro-Intestinal Absorption of Lead in Children and Adults: Overview of Biological and Biophysico-Chemical Aspects. *Chemical Speciation & Bioavailability*. diciembre de 1991;3(3-4):87-104. doi:10.1080/09542299.1991.11083160
20. Yu L, Yu Y, Xiao Y, Tian F, Narbad A, Zhai Q, et al. Lead-induced gut injuries and the dietary protective strategies: A review. *Journal of Functional Foods*. agosto de 2021;83:104528. doi:10.1016/j.jff.2021.104528
21. Clarà PC, Jerez FR, Ramírez JB, González CM. Deposition and Clinical Impact of Inhaled Particles in the Lung. *Archivos de Bronconeumología*. junio de 2023;59(6):377-82. doi:10.1016/j.arbres.2023.01.016
22. International Commission on Radiological Protection. Clearance of particles from the respiratory tract. En: *Human respiratory tract model for radiological protection*. UK: Pergamon Press; 1994. p. 301-413 p.
23. Sun CC, Wong TT, Hwang YH, Chao KY, Jee SH, Wang JD. Percutaneous absorption of inorganic lead compounds. *AIHA J (Fairfax, Va)*. 2002;63(5):641-6. doi:10.1080/15428110208984751 PubMed PMID: 12529920.
24. Boskabady M, Marefati N, Farkhondeh T, Shakeri F, Farshbaf A, Boskabady MH. The effect of environmental lead exposure on human health and the contribution of inflammatory mechanisms, a review. *Environment International*. noviembre de 2018;120:404-20. doi:10.1016/j.envint.2018.08.013

25. Collin MS, Venkatraman SK, Vijayakumar N, Kanimozhi V, Arbaaz SM, Stacey RGS, et al. Bioaccumulation of lead (Pb) and its effects on human: A review. *Journal of Hazardous Materials Advances*. agosto de 2022;7:100094. doi:10.1016/j.hazadv.2022.100094
26. Smith D, Hernandez-Avila M, Téllez-Rojo MM, Mercado A, Hu H. The relationship between lead in plasma and whole blood in women. *Environmental Health Perspectives*. marzo de 2002;110(3):263-8. doi:10.1289/ehp.02110263
27. Bergdahl IA, Grubb A, Schütz A, Desnick RJ, Wetmur JG, Sassa S, et al. Lead binding to delta-aminolevulinic acid dehydratase (ALAD) in human erythrocytes. *Pharmacol Toxicol*. octubre de 1997;81(4):153-8. doi:10.1111/j.1600-0773.1997.tb02061.x PubMed PMID: 9353844.
28. Bergdahl IA, Sheveleva M, Schütz A, Artamonova VG, Skerfving S. Plasma and blood lead in humans: capacity-limited binding to delta-aminolevulinic acid dehydratase and other lead-binding components. *Toxicol Sci*. diciembre de 1998;46(2):247-53. doi:10.1006/toxs.1998.2535 PubMed PMID: 10048127.
29. Xie Y, Chiba M, Shinohara A, Watanabe H, Inaba Y. Studies on Lead-Binding Protein and Interaction Between Lead and Selenium in the Human Erythrocytes. *Industrial Health*. 1998;36(3):234-9. doi:10.2486/indhealth.36.234

30. Onalaja AO, Claudio L. Genetic susceptibility to lead poisoning. *Environmental Health Perspectives*. marzo de 2000;108(suppl 1):23-8. doi:10.1289/ehp.00108s123
31. Jaffe EK, Martins J, Li J, Kervinen J, Dunbrack RL. The Molecular Mechanism of Lead Inhibition of Human Porphobilinogen Synthase *. *Journal of Biological Chemistry*. 12 de enero de 2001;276(2):1531-7. doi:10.1074/jbc.M007663200
32. Ahamed M, Siddiqui MKJ. Low level lead exposure and oxidative stress: Current opinions. *Clinica Chimica Acta*. agosto de 2007;383(1-2):57-64. doi:10.1016/j.cca.2007.04.024
33. Al-Modhefer AJA, Bradbury MWB, Simons TJB. Observations on the chemical nature of lead in human blood serum. *Clinical Science*. 1 de diciembre de 1991;81(6):823-9. doi:10.1042/cs0810823
34. Huang H, Guan H, Tian ZQ, Chen MM, Tian KK, Zhao FJ, et al. Exposure sources, intake pathways and accumulation of lead in human blood. *Soil Security*. 1 de junio de 2024;15:100150. doi:10.1016/j.soisec.2024.100150
35. Engwa GA, Ferdinand PU, Nwalo FN, Unachukwu MN, Engwa GA, Ferdinand PU, et al. Mechanism and Health Effects of Heavy Metal Toxicity in Humans. En: *Poisoning in the Modern World - New Tricks for an Old Dog?* [Internet]. IntechOpen; 2019 [citado 26 de enero de 2025]. Disponible en: <https://www.intechopen.com/chapters/64762> doi:10.5772/intechopen.82511

36. Wilker E, Korrick S, Nie LH, Sparrow D, Vokonas P, Coull B, et al. Longitudinal changes in bone lead levels: the VA Normative Aging Study. *J Occup Environ Med.* agosto de 2011;53(8):850-5. doi:10.1097/JOM.0b013e31822589a9 PubMed PMID: 21788910; PubMed Central PMCID: PMC3159960.
37. Behinaein S, Chettle DR, Egden LM, McNeill FE, Norman G, Richard N, et al. Nonlinearity in the relationship between bone lead concentrations and CBLI for lead smelter employees. *J Environ Monit.* diciembre de 2012;14(12):3267-75. doi:10.1039/c2em30652b PubMed PMID: 23152131.
38. Behinaein S, Chettle DR, Egden LM, McNeill FE, Norman G, Richard N, et al. The estimation of the rates of lead exchange between body compartments of smelter employees. *Environ Sci: Processes Impacts.* 26 de junio de 2014;16(7):1705-15. doi:10.1039/C4EM00032C
39. Meirer F, Pemmer B, Pepponi G, Zoeger N, Wobrauschek P, Sprio S, et al. Assessment of chemical species of lead accumulated in tidemarks of human articular cartilage by X-ray absorption near-edge structure analysis. *J Synchrotron Radiat.* 1 de marzo de 2011;18(Pt 2):238-44. doi:10.1107/S0909049510052040 PubMed PMID: 21335911; PubMed Central PMCID: PMC3042330.
40. Aufderheide AC, Wittmers LE. Selected aspects of the spatial distribution of lead in bone. *Neurotoxicology.* 1992;13(4):809-19. PubMed PMID: 1302307.

41. Zhang W, Zhang GG, He HZ, Bolt HM. Early health effects and biological monitoring in persons occupationally exposed to tetraethyl lead. *Int Arch Occup Environ Health*. 1994;65(6):395-9. doi:10.1007/BF00383250 PubMed PMID: 7518422.
42. Nielsen T, Jensen KA, Grandjean P. Organic lead in normal human brains. *Nature*. agosto de 1978;274(5671):602-3. doi:10.1038/274602a0
43. Chamberlain AC, Atomic Energy Research Establishment (Harwell Berkshire), Authority UKAE, Organization ILZR. Investigations Into Lead from Motor Vehicles [Internet]. Environmental & Medical Sciences Division, AERE Harwell; 1978. (AERE -R9198). Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=Jr4sSwAACAAJ>
44. Griffin TB, Coulston F, Wills H. Biological and clinical effects of continuous exposure to airborne particulate lead. *Arhiv za higijenu rada i toksikologiju*. 1975;26(Supplement):191-208.
45. Hernández-Ochoa I, García-Vargas G, López-Carrillo L, Rubio-Andrade M, Morán-Martínez J, Cebrián ME, et al. Low lead environmental exposure alters semen quality and sperm chromatin condensation in northern Mexico. *Reproductive Toxicology*. 1 de julio de 2005;20(2):221-8. doi:10.1016/j.reprotox.2005.01.007
46. Rabinowitz MB, Wetherill GW, Kopple JD. Kinetic analysis of lead metabolism in healthy humans. *J Clin Invest*. agosto de 1976;58(2):260-70. PubMed PMID: 783195; PubMed Central PMCID: PMC333178.

47. Gidlow DA. Lead toxicity. OCCMED. julio de 2015;65(5):348-56.
doi:10.1093/occmed/kqv018
48. Araki S, Aono H, Yokoyama K, Murata K. Filterable plasma concentration, glomerular filtration, tubular balance, and renal clearance of heavy metals and organic substances in metal workers. Arch Environ Health. 1986;41(4):216-21. doi:10.1080/00039896.1986.9938336
PubMed PMID: 3767431.
49. Chamberlain AC. Effect of airborne lead on blood lead. Atmospheric Environment (1967). 1 de enero de 1983;17(4):677-92.
doi:10.1016/0004-6981(83)90415-8
50. Environmental Protection Agency (EPA). Integrated Science Assessment for Lead. 2024 [Internet]. Disponible en:
<https://assessments.epa.gov/isa/document/&deid=359536>
51. Environmental Protection Agency (EPA). Integrated Science Assessment for Lead. 2014C [Internet]. Disponible en:
<https://cfpub.epa.gov/ncea/isa/recordisplay.cfm?deid=255721>
52. Flora G, Gupta D, Tiwari A. Toxicity of lead: A review with recent updates. Interdiscip Toxicol. junio de 2012;5(2):47-58.
doi:10.2478/v10102-012-0009-2 PubMed PMID: 23118587; PubMed Central PMCID: PMC3485653.
53. Singh N, Kumar A, Gupta VK, Sharma B. Biochemical and Molecular Bases of Lead-Induced Toxicity in Mammalian Systems and Possible

- Mitigations. *Chem Res Toxicol*. 15 de octubre de 2018;31(10):1009-21.
doi:10.1021/acs.chemrestox.8b00193
54. Di Lorenzo L, Vacca A, Corfiati M, Lovreglio P, Soleo L. Evaluation of Tumor Necrosis Factor-Alpha and Granulocyte Colony-Stimulating Factor Serum Levels in Lead-Exposed Smoker Workers. *Int J Immunopathol Pharmacol*. 1 de abril de 2007;20(2):239-47.
doi:10.1177/039463200702000204
55. Mitra P, Sharma S, Purohit P, Sharma P. Clinical and molecular aspects of lead toxicity: An update. *Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences*. 17 de noviembre de 2017;54(7-8):506-28.
doi:10.1080/10408363.2017.1408562
56. Toscano CD, Guilarte TR. Lead neurotoxicity: from exposure to molecular effects. *Brain Res Brain Res Rev*. noviembre de 2005;49(3):529-54. doi:10.1016/j.brainresrev.2005.02.004 PubMed PMID: 16269318.
57. Brubaker CJ, Dietrich KN, Lanphear BP, Cecil KM. The influence of age of lead exposure on adult gray matter volume. *NeuroToxicology*. 1 de junio de 2010;31(3):259-66. doi:10.1016/j.neuro.2010.03.004
58. Cecil KM, Brubaker CJ, Adler CM, Dietrich KN, Altaye M, Egelhoff JC, et al. Decreased Brain Volume in Adults with Childhood Lead Exposure. *PLOS Medicine*. 27 de mayo de 2008;5(5):e112.
doi:10.1371/journal.pmed.0050112

59. Ghiasvand M, Mohammadi S, Roth B, Ranjbar M. The Relationship between Occupational Exposure to Lead and Hearing Loss in a Cross-Sectional Survey of Iranian Workers. *Front Public Health*. 16 de febrero de 2016;4:19. doi:10.3389/fpubh.2016.00019 PubMed PMID: 26909343; PubMed Central PMCID: PMC4754392.
60. Malekirad AA, Kalantari-Dehaghi R, Abdollahi M. Clinical, haematological, and neurocognitive findings in lead-exposed workers of a battery plant in Iran. *Arh Hig Rada Toksikol*. diciembre de 2013;64(4):497-503. doi:10.2478/10004-1254-64-2013-2385 PubMed PMID: 24384755.
61. Vlasak T, Jordakieva G, Gnambs T, Augner C, Crevenna R, Winker R, et al. Blood lead levels and cognitive functioning: A meta-analysis. *Sci Total Environ*. 10 de junio de 2019;668:678-84. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.03.052 PubMed PMID: 30856576.
62. Przybyla J, Houseman EA, Smit E, Kile ML. A path analysis of multiple neurotoxic chemicals and cognitive functioning in older US adults (NHANES 1999-2002). *Environ Health*. 7 de marzo de 2017;16(1):19. doi:10.1186/s12940-017-0227-3 PubMed PMID: 28270159; PubMed Central PMCID: PMC5341442.
63. Buser MC, Scinicariello F. Cadmium, Lead, and Depressive Symptoms: Analysis of National Health and Nutrition Examination Survey 2011-2012. *J Clin Psychiatry*. mayo de 2017;78(5):e515-21.

doi:10.4088/JCP.15m10383 PubMed PMID: 27929609; PubMed Central
PMCID: PMC8117117.

64. Golub NI, Winters PC, van Wijngaarden E. A population-based study of blood lead levels in relation to depression in the United States. *Int Arch Occup Environ Health*. octubre de 2010;83(7):771-7. doi:10.1007/s00420-009-0497-3 PubMed PMID: 19967393; PubMed Central PMCID: PMC2939966.
65. Bouchard MF, Bellinger DC, Weuve J, Matthews-Bellinger J, Gilman SE, Wright RO, et al. Blood lead levels and major depressive disorder, panic disorder, and generalized anxiety disorder in US young adults. *Arch Gen Psychiatry*. diciembre de 2009;66(12):1313-9. doi:10.1001/archgenpsychiatry.2009.164 PubMed PMID: 19996036; PubMed Central PMCID: PMC2917196.
66. Faramawi MF, Delongchamp R, Lin YS, Liu Y, Abouelenien S, Fischbach L, et al. Environmental lead exposure is associated with visit-to-visit systolic blood pressure variability in the US adults. *Int Arch Occup Environ Health*. abril de 2015;88(3):381-8. doi:10.1007/s00420-014-0970-5 PubMed PMID: 25086568.
67. Ghiasvand M, Aghakhani K, Salimi A, Kumar R. Ischemic heart disease risk factors in lead exposed workers: research study. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*. 22 de abril de 2013;8(1):11. doi:10.1186/1745-6673-8-11

68. Nawrot TS, Thijs L, Den Hond EM, Roels HA, Staessen JA. An epidemiological re-appraisal of the association between blood pressure and blood lead: a meta-analysis. *J Hum Hypertens*. febrero de 2002;16(2):123-31. doi:10.1038/sj.jhh.1001300 PubMed PMID: 11850770.
69. Bushnik T, Levallois P, D'Amour M, Anderson TJ, McAlister FA. Association between blood lead and blood pressure: Results from the Canadian Health Measures Survey (2007 to 2011). *Health Rep*. julio de 2014;25(7):12-22. PubMed PMID: 25029492.
70. Muntner P, Menke A, DeSalvo KB, Rabito FA, Batuman V. Continued Decline in Blood Lead Levels Among Adults in the United States: The National Health and Nutrition Examination Surveys. *Archives of Internal Medicine*. 10 de octubre de 2005;165(18):2155-61. doi:10.1001/archinte.165.18.2155
71. Jain NB, Potula V, Schwartz J, Vokonas PS, Sparrow D, Wright RO, et al. Lead Levels and Ischemic Heart Disease in a Prospective Study of Middle-Aged and Elderly Men: the VA Normative Aging Study. *Environ Health Perspect*. junio de 2007;115(6):871-5. doi:10.1289/ehp.9629 PubMed PMID: 17589593; PubMed Central PMCID: PMC1892138.
72. Orr SE, Bridges CC. Chronic Kidney Disease and Exposure to Nephrotoxic Metals. *Int J Mol Sci*. 12 de mayo de 2017;18(5):1039. doi:10.3390/ijms18051039 PubMed PMID: 28498320; PubMed Central PMCID: PMC5454951.

73. Yu CC, Lin JL, Lin-Tan DT. Environmental exposure to lead and progression of chronic renal diseases: a four-year prospective longitudinal study. *J Am Soc Nephrol.* abril de 2004;15(4):1016-22. doi:10.1097/01.asn.0000118529.01681.4f PubMed PMID: 15034104.
74. Wang VS, Lee MT, Chiou JY, Guu CF, Wu CC, Wu TN, et al. Relationship between blood lead levels and renal function in lead battery workers. *Int Arch Occup Environ Health.* octubre de 2002;75(8):569-75. doi:10.1007/s00420-002-0362-0 PubMed PMID: 12373319.
75. Conterato GMM, Bulcão RP, Sobieski R, Moro AM, Charão MF, de Freitas FA, et al. Blood thioredoxin reductase activity, oxidative stress and hematological parameters in painters and battery workers: relationship with lead and cadmium levels in blood. *Journal of Applied Toxicology.* 2013;33(2):142-50. doi:10.1002/jat.1731
76. Chen Y, Xu X, Zeng Z, Lin X, Qin Q, Huo X. Blood lead and cadmium levels associated with hematological and hepatic functions in patients from an e-waste-polluted area. *Chemosphere.* abril de 2019;220:531-8. doi:10.1016/j.chemosphere.2018.12.129 PubMed PMID: 30594806.
77. Bagci C, Bozkurt AI, Cakmak EA, Can S, Cengiz B. Blood lead levels of the battery and exhaust workers and their pulmonary function tests. *Int J Clin Pract.* junio de 2004;58(6):568-72. doi:10.1111/j.1368-5031.2004.00002.x PubMed PMID: 15311556.
78. Bener A, Almehdi AM, Alwash R, Al-Neamy FR. A pilot survey of blood lead levels in various types of workers in the United Arab Emirates.

- Environ Int. octubre de 2001;27(4):311-4. doi:10.1016/s0160-4120(01)00061-7 PubMed PMID: 11686641.
79. Chung HK, Chang YS, Ahn CW. Effects of blood lead levels on airflow limitations in Korean adults: findings from the 5th KNHNES 2011. Environ Res. enero de 2015;136:274-9. doi:10.1016/j.envres.2014.10.027 PubMed PMID: 25460646.
80. Rokadia HK, Agarwal S. Serum heavy metals and obstructive lung disease: results from the National Health and Nutrition Examination Survey. Chest. 1 de febrero de 2013;143(2):388-97. doi:10.1378/chest.12-0595 PubMed PMID: 22911427.
81. Min JY, Min KB, Kim R, Cho SI, Paek D. Blood lead levels and increased bronchial responsiveness. Biol Trace Elem Res. 2008;123(1-3):41-6. doi:10.1007/s12011-008-8099-6 PubMed PMID: 18286239.
82. Padilla Magunazelaia A, Rodríguez-Sierra Huguet N, Martínez Castillo A. Protocolos de Vigilancia Médica Específica - Plomo. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco; 2000.
83. Pájaro Castro NP, Maldonado Rojas W, Pérez Gari NE, Díaz Cuadro JA. Revisión de las implicaciones ocupacionales por exposición al plomo. Inf Téc. 29 de diciembre de 2013;77(2). doi:10.23850/22565035.58
84. Gomero Cuadra R, Llap Yesan C. La historia médico - ocupacional como herramienta de diagnóstico. Revista Medica Herediana. julio de 2005;16(3):199-201.

85. Moreira S, Silva Santos C, Ramos C, Borges T. Vigilância da saúde dos trabalhadores expostos a agentes químicos cancerígenos, mutagénicos ou tóxicos para a reprodução – Guia Técnico n.º 2. Direcção General de Salud, Lisboa; 2018.
86. García Gómez M, Esteban Buedo V, Gallo Fernández M, Artieda Pellejero L, Guzmán Fernández A. Vigilancia de la salud para la prevención de riesgos laborales. Ministerio de la Sanidad, España; 2019.
87. Lax MB, Grant WD, Manetti FA, Klein R. Recognizing occupational disease--taking an effective occupational history. *Am Fam Physician*. 15 de septiembre de 1998;58(4):935-44. PubMed PMID: 9767728.
88. Esteban Buedo V, Gisasola Yeregui A, García Gómez M, Fernández Sánchez R, Cabrerizo Benito J, Lijó Bilbao A, et al. Protocolización de la vigilancia sanitaria específica de las personas con riesgo de exposición laboral a productos químicos. Ministerio de la Sanidad, España; 2023.
89. García Nieto VM, Luis Yanes MI, Arango Sancho P, Sotoca Fernandez JV. Utilidad de las pruebas básicas de estudio de la función renal en la toma de decisiones en niños con pérdida de parénquima renal o dilatación de la vía urinaria. *Nefrología (Madrid)*. junio de 2016;36(3):222-31. doi:10.1016/j.nefro.2016.01.009
90. Martin D, Glass TA, Bandeen-Roche K, Todd AC, Shi W, Schwartz BS. Association of blood lead and tibia lead with blood pressure and hypertension in a community sample of older adults. *Am J Epidemiol*. 1

de marzo de 2006;163(5):467-78. doi:10.1093/aje/kwj060 PubMed
PMID: 16421242.

91. Park SK, Mukherjee B, Xia X, Sparrow D, Weisskopf MG, Nie H, et al. Bone lead level prediction models and their application to examine the relationship of lead exposure and hypertension in the Third National Health and Nutrition Examination Survey. *J Occup Environ Med.* diciembre de 2009;51(12):1422-36. doi:10.1097/JOM.0b013e3181bf6c8d PubMed PMID: 19952788; PubMed Central PMCID: PMC2939477.
92. Yazbeck C, Thiebaugeorges O, Moreau T, Goua V, Debotte G, Sahuquillo J, et al. Maternal blood lead levels and the risk of pregnancy-induced hypertension: the EDEN cohort study. *Environ Health Perspect.* octubre de 2009;117(10):1526-30. doi:10.1289/ehp.0800488 PubMed PMID: 20019901; PubMed Central PMCID: PMC2790505.
93. Chen C, Li Q, Nie X, Han B, Chen Y, Xia F, et al. Association of lead exposure with cardiovascular risk factors and diseases in Chinese adults. *Environ Sci Pollut Res Int.* octubre de 2017;24(28):22275-83. doi:10.1007/s11356-017-9884-6 PubMed PMID: 28799038.
94. Moreno Borque A, González Moreno L, Mendoza-Jiménez J, García-Buey L, Moreno Otero R. Utilidad de los parámetros analíticos en el diagnóstico de las enfermedades hepáticas. *Anales de Medicina Interna.* enero de 2007;24(1):38-46.

95. Congreso de la República del Perú. Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo [Internet]. Ley N° 29783. 20 de agosto de 2011. Disponible en: <https://www.leyes.congreso.gob.pe/Documentos/Leyes/29783.pdf>
96. Ministerio de Energía y Minas. Reglamento de Seguridad y Salud en Minería [Internet]. Decreto Supremo N°024-2016-EM. 26 de julio de 2016. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/901782/DS-024-2016-EM.pdf>
97. Ministerio del Ambiente. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el aire [Internet]. Decreto Supremo N°003-2017-MINAM. 7 de junio de 2017. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-003-2017-MINAM.pdf>
98. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards. CDC/NIOSH; 2021.
99. Pumallanqui-Ramirez B, Li J, Rueda-Torres L, Rosales-Rimache J. Relationship between Blood Lead Levels and Anemia: A Cross-Sectional Study on Mining Workers from Peru. *Advances in Public Health*. 2024;2024(1):5517405. doi:10.1155/2024/5517405
100. Ramírez AV. Exposición a plomo en trabajadores de fábricas informales de baterías. *Anales de la Facultad de Medicina*. junio de 2008;69(2):104-7.
101. Bandeira M, Dos Santos NR, Cardoso MS, Hlavinicka N, Anjos ALS, Wândega EL, et al. Assessment of potters' occupational exposure to lead

and associated risk factors in Maragogipinho, Brazil: preliminary results. *Int Arch Occup Environ Health*. julio de 2021;94(5):1061-71. doi:10.1007/s00420-021-01659-1 PubMed PMID: 33606099.

102.Menezes Filho JA, Carvalho WAD, Spínola AG. Avaliação da exposição ocupacional ao chumbo em uma metalúrgica um estudo transversal. *Rev bras saúde ocup*. 2003;28(105-106):63-72. doi:10.1590/S0303-76572003000100007

103.Berduc AD, Crapanzano V, Voitzuk AP, Schmidt GL. Intoxicación crónica con plomo en exposición ocupacional. Características clínicas y epidemiológicas período 2005-2014. *Revista de toxicología*. 2021;38(2):94-7.

104.Bilotta MC, Merodo P, Godoy Ortiz A. Exposición a la Contaminación con Plomo en Taller de Ensamble de Baterías. *Ciencia & trabajo*. diciembre de 2013;15(48):158-64. doi:10.4067/S0718-24492013000300009

105.González J, Alfaro G, Arriagada MP, Castillo C, Muñoz V, Espina JP, et al. Exposición ocupacional a plomo y cadmio en personal de salud. *Revista Chilena de Salud Pública*. 1 de enero de 2006;10(3):139-45.

106.Laborde A, Ben S de, Tomasina F, Martín RGS, Tortorella MN, Sponton F. Estudio epidemiológico de una población expuesta laboralmente a plomo. *Revista Médica del Uruguay*. 31 de diciembre de 2006;22(4):287-92.

107. Molina L, Di Bernardo ML, Rondón C, García MY, Carrero P, Luna JR, et al. Determinación y estandarización de plomo en sangre en operarios de estaciones de servicio del Estado Mérida. *Acta bioquímica clínica latinoamericana*. junio de 2007;41(2):229-36.
108. Díaz SM, Avila ET, Palma RM, Narváez DM, Uribe MV. Evaluación de la exposición a plomo en trabajadores informales colombianos que reciclan baterías. *Revista de Salud Ambiental*. 15 de junio de 2022;22(1):35-43.
109. Rivera K, Pernía B. Determinación de los niveles de plomo en sangre en trabajadores de fábricas de baterías ubicadas en Guayaquil-Ecuador. *Enfoque UTE*. 5 de abril de 2021;12(2):1-18. doi:10.29019/enfoqueute.727
110. Albiano N, Lepori EV. *Toxicología Laboral* [Internet]. 4ta Edición. Buenos Aires: Superintendencia de Riesgos del Trabajo; 2015. 102-112 p. Disponible en: https://www.toxicologia.org.ar/wp-content/uploads/2018/06/Toxicologia_Laboral-2015.pdf
111. Ministerio de Salud - Chile. Protocolo de vigilancia ocupacional por exposición a metales y metaloides. Resolución Exenta N°606, 2023.
112. Poder Ejecutivo - Uruguay. Ley 17444 - Análisis de dosificación de plomemia [Internet]. 2004. Disponible en: <https://impo.com.uy/bases/leyes/17774-2004>

113. Ministerio de Salud Pública. Ordenanza 145.009 - Vigilancia Sanitaria de los Trabajadores expuestos a Factores de Riesgo Químicos, Físicos y Biológicos. 2009.
114. Ministerio de Justicia y Trabajo - Paraguay. DECRETO N° 14390/92 - Reglamento General de Seguridad, Higiene y Medicina del Trabajo. 1992.
115. Dirección Técnica de Fiscalización y Control de Servicios de Salud - Bolivia. Resolución Administrativa ASSUS 0153/2022 - Norma Técnica «MEDICINA DEL TRABAJO EN LOS ENTES GESTORES DE LA SEGURIDAD SOCIAL DE CORTO PLAZO» [Internet]. 2022. Disponible en: <https://www.asuss.gob.bo/wp-content/uploads/2023/01/reglamento-NORMA-ESPE-compressed-1.pdf>
116. FONDONORMA. Norma COVENIN 2277:2001 - Higiene ocupacional para la exposición a plomo. Caracas, Venezuela: FONDONORMA; 2001.
117. Ministerio de la Protección Social - Colombia. Regulación de las evaluaciones médicas ocupacionales y el manejo y contenido de las historias clínicas ocupacionales. Resolución 2346/2007.
118. Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social. Norma de Salud y Seguridad para la Exposición Laboral al Plomo. Seguro General de Riesgos del Trabajo; s.f.

VII. ANEXOS

Anexo 1. Diagrama PRISMA

