



**FACULTAD DE CIENCIAS DE TRABAJO**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE TRABAJO Y  
COMPORTAMIENTO HUMANO**

**Trabajo de fin de Carrera titulado:**

**BIOMONITORIZACIÓN HUMANA (HBM) DE METALES EN TRABAJADORES  
EXPUESTOS A MATERIALES PELIGROSOS EN UNA EMPRESA DE GESTIÓN INTEGRAL  
DE DESECHOS DEL ECUADOR**

**Realizado por:**

DANILOYOVANI MARTINEZ JIMBO

**Director del proyecto:**

RUBEN GUILLERMO VASCONEZ IPALLA

**Como requisito para la obtención del título de:**

**ESPECIALISTA EN TOXICOLOGÍA LABORAL**

QUITO, 01 OCTUBRE del 2021

# BIOMONITORIZACIÓN HUMANA (HBM) DE METALES EN TRABAJADORES EXPUESTOS A MATERIALES PELIGROSOS EN UNA EMPRESA DE GESTIÓN INTEGRAL DE DESECHOS DEL ECUADOR

## RESUMEN

**Objetivos:** Determinar la Biomonitorización humana (HBM) de metales en trabajadores expuestos a materiales peligrosos en una empresa de gestión integral de desechos **Método:** Se utiliza el método descriptivo, transversal y longitudinal. **Resultados:** Planteamiento de propuesta de biomonitorización humana por exposición a metales, se encontró que de 30 trabajadores 2 (8%) presenta elevación de plomo en sangre, mientras que uno con mercurio elevado (4%) **Implicaciones:** La biomonitorización identifica y apoya en la eliminación de factores de exposición, estudia la relación entre los tóxicos y los efectos en la salud, ayuda a la identificación de trabajadores vulnerables a contaminantes químicos, también es utilizada en los programas de prevención creando políticas de vigilancia y promoción de la salud, como base para el desarrollo de leyes encaminadas a la reducción de la contaminación por sustancias químicas. Limitaciones y fortalezas del estudio: Existe pocas metodologías validadas en biomonitorización y miles de sustancias químicas. La tendencia decreciente en los niveles de exposición ocupacional y mejores métodos analíticos permiten la investigación de productos extraños y sustancias propias del cuerpo en matrices más comunes. En el futuro se prevé como biomarcadores de exposición a agentes carcinógenos (pero no como biomonitoreo de cáncer), son las tecnologías 'ómicas' que detectan señales y respuestas tempranas moleculares a nivel celular, estas técnicas son una posibilidad muy prometedora para la biomonitorización humana futura **Palabras clave:** Biomonitorización, biomarcadores, biovigilancia, metales, salud ocupacional, exposición por metales.

## ABSTRACT

---

**Objectives:** To determine the human biomonitoring (HBM) of metals in workers exposed to hazardous materials in an integrated waste management company. **Method:** A descriptive, transversal, and longitudinal method was used. **Results:** Proposal of human biomonitoring proposal for exposure to metals found that out of 30 workers, 2 (8%) had elevated blood lead levels, while one worker had elevated mercury (4%). **Implications:** Biomonitoring identifies and supports in the elimination of exposure factors, studies the relationship between toxicants and health effects, helps in the identification of workers vulnerable to chemical contaminants, it is also used in prevention programs creating surveillance and health promotion policies, as a basis for the development of laws aimed at the reduction of pollution by chemicals. **Limitations and strengths of the study:** There are few validated methodologies in biomonitoring and thousands of chemical substances. The decreasing trend in occupational exposure levels and better analytical methods allow the investigation of foreign products and body's own substances in more common arrays. In the future, biomarkers of exposure to carcinogens (but not cancer biomonitoring) are envisioned as 'omics' technologies that detect early molecular signals and responses at the cellular level; these techniques are a very promising possibility for future human biomonitoring. **Keywords:** biomonitoring, biomarkers, biomonitoring, biomonitoring, metals, occupational health, metal exposure.

---

## Introducción

Las grandes ciudades y en forma general las áreas metropolitanas sufren de problemas de gestión de residuos debido al aumento a un ritmo sin precedentes en la generación de desechos<sup>(1)</sup>, se convierten en graves problemas en los países en desarrollo, ya que adolecen de tecnologías para el adecuado tratamiento y manejo de los desechos peligrosos generados en el sector de la industria principalmente y por el limitado espacio para los botaderos. Por lo que, algunas comunidades están incluyendo la incineración como parte de su táctica de gestión de residuos. La incineración es la destrucción de materiales por la aplicación controlada de calor y es un proceso químicamente complejo que conduce a la formación de un gran número de combinados químicos, genera gran cantidad de sustancias tóxicas que causan problemas al aire, al agua, al suelo y a la salud de las personas, muchos de los cuales tienen propiedades toxicológicas conocidas<sup>(2)</sup>. Parece que los riesgos "visibles para la salud", se observan de forma más aguda que los riesgos que no son visibles o que tienen una amplia latencia y cronicidad. De hecho, estos últimos pueden sospechar un riesgo más amenazante para la salud y vida de los trabajadores de lo que creen, por ejemplo, los desechos peligrosos pueden ocasionar cánceres, intoxicación por metales pesados, hepatitis B o infección por VIH <sup>(2), (3)</sup>, manifestaciones dermatológicas, ópticas y respiratorias en intoxicaciones agudas, mutagénicos, teratogénicos, inmunológicos y otros en intoxicaciones crónicas.

A medida que los países crecen, se desarrollan y obtiene recursos económicos, se presta más atención a los problemas sanitarios relacionados con los residuos químicos peligrosos. Para la gestión integral de sustancias químicas y desechos peligrosos, organismos internacionales como la ONU (Organización de las Naciones Unidas) en su interés de resguardar la salud humana y el ambiente contra los efectos adversos de las sustancias químicas tóxicas y los desechos peligrosos brinda apoyo a los países, en sus esfuerzos por poner en práctica las acciones preventivas <sup>(4)</sup>

El Ministerio de Ambiente del Ecuador, indica que las **sustancias químicas peligrosas puestas a control** son aquellas que se hallan en las listas aprobadas por la Autoridad Ambiental Nacional. *Los metales pesados son generalmente tóxicos para los seres humanos, e incluso en concentraciones bajas, pueden* representar un alto riesgo potencial o comprobado para la salud y el ambiente<sup>(4)(5)(6)</sup>. Por lo que es importante realizar controles en la prevención de riesgos y dentro de estos, está la vigilancia de la salud considerada como control biológico, monitoreo biológico o biomonitorización humana para estimar las dosis internas de las sustancias químicas del ambiente laboral<sup>(7)</sup>, la biomonitorización es la identificación de sustancias en muestras biológicas de trabajadores que se comparan con los valores de referencia <sup>(8)</sup>. Se debe diferenciar entre la vigilancia biológica y la vigilancia del aire en el lugar de trabajo y se resumen en el cuadro 1

**Cuadro 1: Comparación de la vigilancia biológica y del aire en el lugar de trabajo**

<b>Ítem</b>	<b>Monitoreo biológico</b>	<b>Monitoreo del aire en el lugar de trabajo</b>
<b>Cuantificar</b>	Dosis interna	Dosis externa
<b>Absorción</b>	Todas las rutas	Sólo inhalación
<b>Factores de confusión</b>	Fenotipo metabólico	Equipos de protección individual, sustancias con estructura/propiedades químicas similares
<b>Normalización</b>	difícil	fácil
<b>Interpretación</b>	difícil	Moderadamente difícil
<b>Medición</b>	Indirecto (biomarcadores)	Generalmente indirecto (sustancia peligrosa)
<b>Cuestiones éticas</b>	importante	ninguno
<b>Variabilidad</b>	Alto	Por lo general, bajo

Fuente: Manno, 2010

La biomonitorización humana (HBM) puede definirse como "una actividad sistemática continua o repetitiva para la recogida de muestras biológicas para el análisis de concentraciones de contaminantes, metabolitos o parámetros de efectos biológicos no adversos para su aplicación inmediata con el objetivo de evaluar la exposición y el riesgo para la salud de los sujetos expuestos, comparando los datos observados con el nivel de referencia y si es necesario, llevar a cabo acciones correctivas<sup>(9)</sup>. Las tres principales vías de exposición a los productos químicos son: la vía inhalatoria (pulmones), la vía dérmica y la gastrointestinal (ingestión).

Sin la biomonitorización como herramienta, la evaluación de los riesgos laborales frente a los riesgos químicos sería más incierta y vaga de lo que es, por lo tanto, la HBM de la dosis y el efecto bioquímico tienen una enorme utilidad, es un medio eficiente y rentable de medir la exposición humana a las sustancias químicas, identifica nuevas exposiciones, tendencias y cambios en la exposición química, identificar grupos vulnerables y poblaciones con mayor exposición, incluida la población general.

La planificación de la biomonitorización comienza con la selección de una herramienta<sup>(10)</sup> o **estrategia de muestreo**. El **método analítico** es fundamental para la validez/fiabilidad de un biomarcador: la exactitud, la precisión, la reproducibilidad, la recuperación, la sensibilidad y la

especificidad tienen una gran influencia en la coherencia con los valores límite y de referencia en cuestión, representa la carga química del cuerpo en la vida real a los productos químicos y/o sus metabolitos<sup>(9)</sup><sup>(10)</sup> La calidad de las muestras y la medición de los biomarcadores se pueden afectar por varios factores: tipo de matrices, el tiempo de recogida, recipientes y conservantes y otros aditivos utilizados para estabilizar la muestra, temperatura de almacenamiento y tiempo de transporte. Deben utilizarse métodos analíticos fiables y validados apoyados por el control de calidad.

El éxito de la biomonitorización depende de la buena cooperación de toda la organización: empleadores, trabajadores, el médico ocupacional / higienista, el laboratorio, etc. La sensibilidad de los métodos HBM por otra parte permite el esclarecimiento de la toxicocinética y toxicodinámica, el metabolismo y los mecanismos tóxicos de los químicos. Por lo tanto, HBM es una herramienta para los científicos, así como para los responsables de la formulación de normativas, políticas de salud, de la prevención y gestión de riesgos<sup>(11)</sup>

El muestreo debe realizarse en un momento en que las exposiciones internas y externas se encuentran en un estado de equilibrio, se debe considerar la vida media de los biomarcadores y la viabilidad de los modelos determinan la estrategia de **muestreo** adecuada: el momento y la frecuencia de la recogida de muestras.

La biomonitorización está disponible en muchos tipos de medios biológicos (matrices de muestra): orina, sangre, aire exhalado, saliva, sudor, semen, heces y varios tejidos (los cuatro últimos su uso dentro del contexto ocupacional es limitado). La matriz adecuada depende del tipo de biomarcador (exposición, efecto, susceptibilidad) y del tipo de producto químico (compuesto o metabolito parental, volátil o no volátil, hidrofílico o hidrofóbico, inestable o persistente, etc.). Las muestras biológicas más importantes utilizadas en la práctica diaria son la orina, es más fácilmente aceptada por los trabajadores. La concentración en la orina<sup>(12)</sup><sup>(13)</sup> generalmente refleja el nivel plasmático medio de la sustancia desde la última micción. Las sustancias excretadas rápidamente como disolventes se detectan en muestras al final del turno.

Las sustancias absorbidas y sus metabolitos activos, la mayoría se pueden encontrar en la sangre, que es la segunda matriz biológica más común utilizada en la biomonitorización de rutina. A diferencia de la orina, la composición de la sangre se regula dentro de límites de pH, concentraciones de sustancias naturales con márgenes muy estrechos, por lo que rara vez necesita ajuste. Este muestreo es útil para productos químicos inorgánicos como metales y para productos

químicos orgánicos que están mal metabolizados y tienen una vida media suficientemente larga. El análisis **del aire exhalado** es el más apropiado determinar la exposición a sustancias orgánicas volátiles.

El Comité científico europeo de límites de exposición profesional (SCOEL) definió: «**Un valor límite biológico (BLV)** es un valor de referencia para la evaluación del riesgo potencial para la salud en la práctica de la salud en el trabajo. Las concentraciones de exposición equivalentes al BLV generalmente no afectan negativamente a la salud del empleado, cuando se alcanzan regularmente en condiciones de trabajo (8 horas/día, 5 días/semana), excepto en casos de hipersensibilidad.»

De acuerdo con los resultados, puede haber consecuencias variadas de los resultados de la biomonitorización por encima del valor de referencia y dependiendo de la exposición, el biomarcador de que se trate puede dar lugar a:

- Un aumento en la frecuencia de la biomonitorización;
- En los trabajadores afectados o expuestos se realiza una Vigilancia de salud más detallada;
- Revisión de la evaluación del riesgo;
- Retirada del trabajador de la exposición/puesto de trabajo.

La biovigilancia es también una herramienta adecuada para evaluar la eficacia de los equipos de protección, la ventilación y otras medidas de higiene. La biomonitorización puede ayudar a estimar la exposición pasada y evaluar la susceptibilidad individual. Los biomarcadores específicos y sensibles pueden permitir la intervención a su debido tiempo, previniendo así el desarrollo de una enfermedad.

Los biomarcadores se comparan con valores de referencia apropiados. Un biomarcador por encima del valor de referencia no significa enfermedad o peligro, sino una exposición potencialmente mayor que la población de referencia<sup>(14)</sup>. Esto, sin embargo, puede no significar necesariamente un mayor riesgo para la salud.

Los biomarcadores se utilizan eficazmente si se entienden sus antecedentes toxicológicos, entre los que se encuentran la toxicocinética, que determina el destino de la sustancia química<sup>(15)</sup> y / o sus metabolitos en el cuerpo; la toxicodinámica que indica el mecanismo de la enfermedad/efecto adverso; y la susceptibilidad que es la forma en que el factor individual promueve que el producto químico cause enfermedad/efecto adverso. En la biotransformación intervienen

muchos modificadores como: sexo, edad, masa corporal, coexposición (lugar de trabajo, no ocupacional: por ejemplo, dieta, incluyendo grasa, alcohol, tabaco, medicación, etc.)<sup>(16)</sup>

El *biomarcador ideal* debe cumplir con los siguientes requisitos: 1) Fácil recolección de la muestra. 2) facilidad en el análisis. 3) Específico. 4) Debe reflejar un cambio subclínico y reversible. 5) Permite realizar medidas preventivas. 6) Debe ser éticamente aceptable. 7) Debe ser barato<sup>(17)</sup>. Está claro que, si consideramos esta definición, son muy pocos los que se ajustan a en la fuente de la exposición (ocupacional o no ocupacional);

- No son específicos de un producto químico;
- No identifican contaminaciones en el lugar de trabajo;
- Interfieren otros productos químicos en el medio biológico (por ejemplo, medicamentos);
- No son útiles para la evaluación y seguimiento de los efectos tóxicos agudos y/o locales (por ejemplo, irritación);
- La toma de muestras para la biovigilancia puede ser una molestia para los trabajadores (por ejemplo, muestras de sangre).<sup>(18)</sup>

Las pruebas de los efectos negativos de la gestión de los desechos sólidos en la salud son inciertas. Las revisiones disponibles sugieren el uso de biomarcadores en la biomonitorización humana (HBM) para detectar niveles de exposición en los trabajadores<sup>(1)(19)</sup>

Con todo lo descrito surge la necesidad de **determinar la biomonitorización humana (HBM) de metales en trabajadores expuestos a materiales peligrosos en una empresa de gestión integral de desechos del Ecuador, empresa que desde el 2011 entró en funcionamiento con la planta de conversión de residuos, ubicada en Cayambe.**

Dicho esto, se plantea como hipótesis para futuras investigaciones que la biomonitorización es una estrategia muy importante de prevención y de gestión de riesgos laborales, por la exposición de los trabajadores a sustancias tóxicas peligrosas como metales y que afecta en la intoxicación de los ellos e incluso sus familias<sup>(2)</sup>.

---

---

## Método

La empresa de gestión de desechos peligrosos emplea en su proceso la tecnología de reducción de desechos peligrosos principalmente la incineración. Los materiales químicos que más se emplean son productos de desechos de contaminantes químicos de plaguicidas, radiología y biológicos. Para la investigación se utiliza el método descriptivo, transversal cada 6 meses y longitudinal por tres años. El Universo del estudio son 30 trabajadores que laboran en el proceso integral de desechos sólidos y para identificar las preocupaciones de la salud de ellos se aplica la Encuesta de la Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con los agentes químicos presentes en los lugares de trabajo, se realiza entrevistas grabadas a los trabajadores para determinar los riesgos a la salud, y se plantea realizar la biomonitorización humana que analiza matrices de sangre y orina en el proceso productivo de 6 metales como: cadmio, cromo, plomo, manganeso, mercurio y arsénico.

A través de este planteamiento se intenta conocer la presencia de agentes químicos en las personas e identificar, al mismo tiempo, las principales rutas de exposición, se evalúa las condiciones del sitio, se determinan las implicaciones para la salud y se elaboran las conclusiones relativas a los peligros para la salud asociados a la actividad. La biomonitorización humana tiene varias consideraciones como:

a. Técnicas:

- Disponer el análisis de las matrices que se va a utilizar, que sean exactas, precisas y técnicas.
- Tomar suficientes de muestras, de sangre y/o orina.
- Costos de los exámenes de las muestras.

b. Sociales:

- Importancia socioambiental: nivel de exposición en el entorno de trabajo.

c. Toxicológicas:

- Relación con las enfermedades toxicológicas laborales.
- Peligrosidad.

- Permanencia en el medio ambiente.
- Bioacumulación.
- Evidencias y daños a la salud.

El diseño de la **biomonitorización humana (HBM)**, comienza por la selección y análisis de sustancias químicas y una vez definidas las sustancias que serían objeto de estudio, se afrontaría la siguiente parte del diseño, en la que deberían constituirse, al menos, tres fases:

Fase de diseño epidemiológico:

- Comprobar la muestra
- Elaborar las preguntas

Fase de laboratorio:

- Determinación de matrices para cada análisis
- Elegir las técnicas analíticas a utilizar

Fase logística:

- Establecer los protocolos desde la toma de las muestras y su transporte, siempre deben considerarse los criterios de calidad de las muestras y la medición de los biomarcadores

Los resultados obtenidos se codifican en una base de datos de Excel y se procesarán en el programa Statistical Package for Social Sciences (SPSS). En el estudio se usará la estadística descriptiva y para la relación entre variables se utilizará T Student para variables cuantitativas y chi<sup>2</sup> para variables cualitativas.

Las variables dependientes son:

Edad, sexo, índice de masa corporal, exposición laboral,

Las variables independientes son:

Coexposición (dieta, incluyendo grasa, alcohol, tabaco, medicación).

Índice de biomonitorización humana de cada trabajador

Los criterios de inclusión son:

- Trabajadores que laboran en el proceso integral de desechos sólidos y estén más de un año laborando
- Trabajadores que accedan a las encuestas, entrevistas y se realicen la biomonitorización humana de metales.

Los criterios de exclusión son:

- Trabajadores con menos de un año de trabajo, enfermedades cancerígenas y trabajadores que no pertenezcan al proceso operativo de exposición.
- Trabajadores que no accedan a llenar las encuestas, las entrevistas y la biomonitorización humana de metales

### **Principios Éticos**

Los resultados de la biomonitorización individuales son datos médicos, por lo que deben manejarse con total confidencialidad y consentimiento de los trabajadores. La interpretación de los resultados es tarea de un médico formado en el campo de la salud ocupacional y toxicología laboral e informado sobre toda la situación (exposiciones en el lugar de trabajo y salud del trabajador). El tratamiento, el almacenamiento y la comunicación de datos se especifican en las legislaciones nacionales. La comunicación y la interpretación de los resultados individuales debe hacerse únicamente hacia el trabajador. Los datos del grupo pueden comunicarse a los representantes del empleador y de los trabajadores. Las consideraciones éticas se deben mirar el proceso entero de un estudio de la biomonitorización.

El código ético del International Commission of occupational Health (ICOH) establece que "los biomarcadores deben elegirse por su validez y relevancia para la protección de la salud del trabajador en cuestión, teniendo debidamente en cuenta su sensibilidad, su especificidad y su valor predictivo". Los principios de este documento acordado internacionalmente son:

- La biovigilancia no debe utilizarse como pruebas de selección ocupacional, ni con fines de seguro médico.

- El conocimiento actual en la biomonitorización de la susceptibilidad no justifica la discriminación de oportunidades de empleo de los trabajadores afectados.
- Se prioriza la toma de muestras no invasivas (orina) y fáciles de recolectar, sin embargo, para determinar biomarcadores de metales es mejor hacer en sangre y en este caso si requiere el consentimiento informado.
- Las pruebas invasivas requieren un análisis de riesgo-beneficio y el consentimiento informado del trabajador.

## Resultados

Se planteo analizar en conjunto las sustancias químicas que se considere conveniente, comenzando con las más relevantes y para iniciar son 6 metales en la sangre, suero y orina de 30 trabajadores que laboran en la planta de gestión integral de desechos sólidos. Los metales estudiados son: plomo y mercurio y luego poco a poco, en función de las capacidades se irá incorporando al resto de forma continua.

Cuadro 2: Características de la población estudiada

<b>Variable</b>	<b>Categoría</b>	<b>Cantidad</b>	<b>%</b>
<b>Género</b>	Edad Promedio	36,02	
	Hombres	28	93%
	Mujeres	2	7%
<b>Edad</b>	18 a 34	13	43%
	35 a 50	17	57%
<b>Tabaquismo</b>	Fuma	2	7%
	No fuma	28	93%
<b>Consumo de alcohol</b>	< una copa /día	30	100%
	> una copa/día	0	0%
	< 18	0	0%
<b>IMC</b>	18 a 24.9	12	40%
	25 a 29.9	14	47%
	> 30	4	13%
<b>Nivel de educación</b>	Primaria	12	40%
	Secundaria	17	57%
	Superior	1	3%

**Fuente: Servicio Médico de Empresa**

En el 2017 en un control de vigilancia de la salud laboral en el que se realizó biomonitorización de metales como plomo y mercurio en los trabajadores, arrojó los datos que se describen a continuación.

**Cuadro 3: Los metales en la sangre divididos por sexo, edad y tabaquismo.**

<b>Metal</b>	<b>Pb</b>	<b>%</b>	<b>Hg</b>	<b>%</b>
<b>Hombres</b>	2	7%	1	3%
<b>Mujeres</b>	0	0%	0	0%
<b>&lt; 35 años</b>	1	3%	0	0%
<b>&gt; 35 años</b>	1	3%	1	3%
<b>Fumadores</b>	0	0%	0	0%
<b>No fumadores</b>	2	7%	1	3%
<b>Total</b>	2	7%	1	3%

**Fuente: Servicio Médico de Empresa**

En cuanto a la biomonitorización realizada se encontró los siguientes datos:

**Cuadro 4: valores de plomo y mercurio encontrados examen**

<b>BIOMONITOREO</b>	<b>PLOMO EN SANGRE</b>	<b>MERCURIO EN SANGRE</b>
	Valor referencial (VLB: Hombres < 40 µg/100 ml de sangre. Mujeres < 30 µg /100 ml de sangre.). En cualquier horario	
<b>Plomo</b>	42	
<b>Plomo</b>	40,9	
<b>Mercurio</b>		12,5

**Fuente: Servicio Médico de Empresa**

## **Discusión**

Este estudio de biomonitorización humana por metales proporcionó información sobre los niveles de 2 metales en la sangre de los trabajadores que laboran en el proceso productivo de incineración, los datos serían considerados como el punto de partida dentro del programa de vigilancia biológica de la empresa. Lo datos indican que hay niveles de exposición a los metales y son en general, bajos y coinciden con los observados en otros países<sup>(8)</sup>, aunque se evaluó únicamente dos metales, sin embargo, se considera que estas evaluaciones se deben a la acumulación de metales por otras razones que las estrictamente ambientales y por otros motivos

que no se analizó en el estudio como la edad (Pb)<sup>(5),(8) (12)</sup>, la contaminación del aire, consumo de pescado (As y Hg)<sup>(12)</sup>, amalgamas (Hg y Sn)<sup>(8)</sup>.

Un estudio realizado en el sector de los residuos y el reciclaje los trabajadores presentan mayor prevalencia de patologías respiratorias, gastrointestinales y cutáneas, mayor riesgo de alveolitis alérgica extrínseca, aspergilosis broncopulmonar alérgica, asma ocupacional y anomalías de la función pulmonar<sup>(20)</sup>, nefrotoxicidad, neurotoxicidad<sup>(21)</sup>, encefalopatía<sup>(17)</sup> Los trabajadores involucrados en el reciclaje de baterías y cables pueden estar en riesgo de intoxicación por plomo tal como se demuestra en este estudio, aunque son sólo dos casos de una sola evaluación y exposición a otros metales pesados. Así mismo hay mayor exposición a metales pesados y contaminantes orgánicos en trabajadores de reciclaje de desechos electrónicos, que se han asociado con daños en el ADN y resultados neonatales adversos<sup>(16)</sup>

En cuanto a las líneas de salud, no se esperan efectos adversos para la salud en el nivel de las concentraciones medias de las exposiciones a metales individuales como el Plomo y Mercurio evaluadas en este estudio, sin embargo, es importante hacer el seguimiento y control de biomonitorización humana por metales de manera permanente y continua en este tipo de empresa

---

### **Implicaciones:**

Los estudios de monitorización biológica humana son muy útiles en la salud laboral por que permiten conocer la exposición a contaminantes químicos de la población trabajadora, identifican y eliminan posibles fuentes de exposición, estudiar relaciones entre contaminantes y efectos en la salud, identificar grupos de poblaciones vulnerables a determinados contaminantes y fijar prioridades en investigación sobre medioambiente y salud. Además, también es utilizada en políticas de salud<sup>(13)</sup>, como base para el desarrollo de leyes encaminadas a la reducción de la contaminación por productos químicos, para este proyecto se determina la viabilidad que a continuación se indica:

### **Viabilidad Técnica**

Para el análisis de cada uno de los biomarcadores del proyecto se realizará una planificación detallada, se definirá los responsables, los recursos, plazos, indicadores y controles de resultados,

que permita la ejecución organizada de cada una de las actividades planificadas; la verificación del cumplimiento de los requisitos establecidos; la detección de desviaciones, ajustes, la incorporación de lecciones aprendidas y la aplicación de medidas preventivas y correctivas.

### **Viabilidad Económica y Financiera**

No aplica al ser un proyecto de investigación para determinar Biomonitorización humana (HBM) de metales en trabajadores expuestos a materiales peligrosos en una empresa de gestión integral de desechos del Ecuador

### **Análisis de sostenibilidad**

La sostenibilidad estará sujeta a la decisión gerencial de la compañía, está en total coherencia a lo estipulado en la Constitución del Ecuador y demás leyes.

### **Sostenibilidad económica-financiera**

Dependerá de los resultados de la investigación que orientarán a la Empresa a tomar los correctivos necesarios de acuerdo con las leyes para mejorar la salud de sus trabajadores.

### **Sostenibilidad social**

Es un proyecto que cuida la equidad, el género, y busca que la atención a la salud de los trabajadores este acorde con las exigencias actuales de los Órganos del Estado y los tratados internacionales a los cuales el Ecuador es suscriptor.

### **Limitaciones y fortalezas**

Actualmente sólo hay 60-90 productos químicos con metodologías validadas en biomonitorización en contraste con los miles de productos químicos utilizados en los lugares de trabajo. Esto requiere el desarrollo de la biomonitorización y una fuerte demanda para desarrollar métodos de muestreo no invasivos. Además de la orina, el aire exhalado y la saliva pueden volverse más comunes.

La tendencia decreciente en los niveles de exposición ocupacional y mejores métodos analíticos permiten la investigación de compuestos aductos (productos de reacción de compuestos extraños y sustancias propias del cuerpo) en matrices. Los aductos son productos de la interacción entre una sustancia química/metabolito reactivo y una molécula diana del cuerpo. Actualmente los aductos se utilizan principalmente en estudios de investigación. Los aductos de la hemoglobina pueden proporcionar la penetración en el mecanismo molecular de la toxicidad, y reflejar la exposición a largo plazo. Los aductos de ADN pueden considerarse como biomarcadores de exposición, de efecto y de susceptibilidad. Se prevén en el futuro como marcadores de exposición a agentes carcinógenos (pero no como marcadores de cáncer)<sup>(16)</sup>. Las tecnologías 'ómicas' (genómica, transcriptómica, proteómica, etc.) detectan respuestas y señales moleculares a nivel celular, como el cambio en el perfil de expresión génica en las células causado por la exposición investigada. Aunque está en la fase de investigación, esta metodología es una prometedora posibilidad para la biomonitorización futura, ya que proporcionará mejores pruebas de la exposición real de los ciudadanos a los productos químicos<sup>(7)</sup>.

---

### **Referencias bibliográficas:**

1. Yang H, Ma M, Thompson JR, Flower RJ. Waste management, informal recycling, environmental pollution and public health. *Journal of Epidemiology and Community Health*. 2018 Mar 1;72(3):237–43.
2. Rodríguez J, Mandalunis PM. A review of metal exposure and its effects on bone health. Vol. 2018, *Journal of Toxicology*. Hindawi Limited; 2018.
3. Sapkota S, Lee A, Karki J, Makai P, Adhikari S, Chaudhuri N, et al. Risks and risk mitigation in waste-work: A qualitative study of informal waste workers in Nepal. *Public Health in Practice*. 2020 Nov 1;1.
4. Tapia L. Ministerio del Ambiente.
5. Dunia M, Heredia R. ARTÍCULO DE REVISIÓN Intoxicación ocupacional por metales pesados Occupational poisoning due to heavy metals. Vol. 21, *MEDISAN*. 2017.
6. Rugel LS. 2-Edición Especial N° 316-Registro Oficial-Lunes 4 de mayo de 2015.

7. Apel P, Angerer J, Wilhelm M, Kolossa-Gehring M. New HBM values for emerging substances, inventory of reference and HBM values in force, and working principles of the German Human Biomonitoring Commission. Vol. 220, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. Elsevier GmbH; 2017. p. 152–66.
8. Bocca B, Bena A, Pino A, D'Aversa J, Oreggia M, Farina E, et al. Human biomonitoring of metals in adults living near a waste-to-energy incinerator in ante-operam phase: Focus on reference values and health-based assessments. *Environmental Research*. 2016 Jul 1;148:338–50.
9. Waseem A, Arshad J. A review of Human Biomonitoring studies of trace elements in Pakistan. Vol. 163, *Chemosphere*. Elsevier Ltd; 2016. p. 153–76.
10. Louro H, Heinälä M, Bessems J, Buekers J, Vermeire T, Woutersen M, et al. Human biomonitoring in health risk assessment in Europe: Current practices and recommendations for the future. Vol. 222, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. Elsevier GmbH; 2019. p. 727–37.
11. Angerer J, Ewers U, Wilhelm M. Human biomonitoring: State of the art. Vol. 210, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. Elsevier GmbH; 2007. p. 201–28.
12. Ruggieri F, Alimonti A, Bena A, Pino A, Oreggia M, Farina E, et al. Human biomonitoring health surveillance for metals near a waste-to-energy incinerator: The 1-year post-operam study. *Chemosphere*. 2019 Jun 1;225:839–48.
13. Ibarluzea J, Aurrekoetxea JJ, Porta M, Sunyer J, Ballester F. La biomonitorización de sustancias tóxicas en muestras biológicas de población general. Vol. 30, *Gaceta Sanitaria*. Ediciones Doyma, S.L.; 2016. p. 45–54.
14. Nisse C, Tagne-Fotso R, Howsam M, Richeval C, Labat L, Leroyer A. Blood and urinary levels of metals and metalloids in the general adult population of Northern France: The IMEPOGE

study, 2008–2010. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2017 Apr 1;220(2):341–63.

15. Manno M, Viau C, Cocker J, Colosio C, Lowry L, Mutti A, et al. Biomonitoring for occupational health risk assessment (BOHRA). Vol. 192, *Toxicology Letters*. 2010. p. 3–16.

16. Iamiceli AL, Abate V, Abballe A, Bena A, de Filippis SP, Dellatte E, et al. Biomonitoring of the adult population living near the waste incinerator of Turin: Serum concentrations of PCDDs, PCDFs, and PCBs after three years from the plant start-up. *Chemosphere*. 2021 Jun 1;272.

17. INSST. *Enciclopedia Práctica de Medicina del Trabajo* [Internet]. Primera. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, editor. Vol. 1. Madrid; 2018 [cited 2021 Sep 29]. Available from: [www.insst.es](http://www.insst.es)

18. Poole CJM, Basu S. Systematic Review: Occupational illness in the waste and recycling sector. Vol. 67, *Occupational Medicine*. Oxford University Press; 2017. p. 626–36.

19. Bena A, Oreggia M, Gandini M, Bocca B, Ruggieri F, Pino A, et al. Human biomonitoring of metals in workers at the waste-to-energy incinerator of Turin: An Italian longitudinal study. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2020 Apr 1;225.

20. Sb M, Katuwl D, Adhikari S, Rijal K. Original Article ISSN: 2091-1041 I VOLUME 3 I ISSUE 1 I.

21. Garza-Lombó C, Pappa A, Panayiotidis MI, Gonsebatt ME, Franco R. Arsenic-induced neurotoxicity: a mechanistic appraisal. Vol. 24, *Journal of Biological Inorganic Chemistry*. Springer; 2019. p. 1305–16.