

# Bioseguridad en la lucha contra incendios en el vertedero de residuos de Cerro Patacón

---

**Acosta Caballero, Carolina Diana**

Universidad UMECIT, Panamá

Licenciatura en Seguridad y Salud Ocupacional

d.caballero1924@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0007-1555-3440>

**Arauz Maclaud, Josué Xavier**

Universidad UMECIT, Panamá

Licenciatura en Seguridad y Salud Ocupacional

josuearauzm@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0000-3335-9704>

**Perez Abrego, Lorelis Ginell**

Universidad UMECIT, Panamá

Licenciatura en Seguridad y Salud Ocupacional

ginellperez30@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0009-0317-5002>

## **Docentes asesores:**

**Mero, Betzaida**

Universidad UMECIT, Panamá

Asignatura: Epidemiología y Demografía Aplicada a la Gestión en Salud

betzaidamero504@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0003-2006-8299>

**Madrid, Milisa**

Universidad UMECIT, Panamá

Asignatura: Toxicología laboral

milymadrid@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0007-3190-997X>

**Sede: La Chorrera**

*DOI: 10.37594/sc.v1i5.1367*

## **Resumen**

Este estudio de investigación se realizó para demostrar que los incendios en vertedero de residuos sólidos de Cerro Patacón son incidentes que representan un grave riesgo ambiental y ocupacional por la gran variedad y cantidad de sustancias peligrosas que se liberan a la atmósfera durante estos siniestros. El presente estudio tuvo como objetivo caracterizar la contaminación generada en incendios de vertederos, así como evaluar las medidas de bioseguridad implementadas en labores de extinción. Se utilizó la metodología de revisión bibliográfica para la recolección de la información, se revisaron 10 artículos publicado por distintas revistas tanto en China, Estados Unidos, Italia, Corea del Sur, España, Taiwán y Chile. se observa la presencia de contaminantes como hidrocarburos aromáticos policíclicos, dioxinas, furanos y metales pesados en las emisiones gaseosas y material particulado. Este estudio proporciona una comprensión más profunda de los efectos que tiene sobre la salud del personal de emergencia que atiende este tipo de incidentes, a su vez nos indica que no es un problema solamente en Panamá, sino que otros países cercanos al nuestro también tienen esta problemática. Esta investigación es de gran importante ya que pude ayudar a los gobiernos locales a tomar medidas para reducir los niveles de exposición del personal de emergencia y garantizar la salud de estos.

**Palabras clave:** contaminación, vertedero, bioseguridad.

## **Biosafety in firefighting at the Cerro Patacón waste landfill site**

### **Abstract**

This research study was carried out to demonstrate that fires in solid waste landfills are incidents that represent a serious environmental and occupational risk due to the wide variety and quantity of hazardous substances released into the atmosphere during these accidents. The aim of the present study was to characterize the pollution generated by landfill fires, as well as to evaluate the biosafety measures implemented in extinction works. The bibliographic review methodology was used for the collection of information, 10 articles published by different journals in both China, the United States, Italy, South Korea, Spain, Taiwan and Chile were reviewed and the presence of pollutants such as polycyclic aromatic hydrocarbons, dioxins, furans and heavy metals in gas emissions and particulate material was observed. This study provides a deeper understanding of the health effects it has on emergency personnel who deal with this type of incidents, in turn it tells us that it is not only a problem in Panama, but that other countries close to ours also have this problem. This research is of great importance as it has helped local governments to take action to reduce the exposure levels of emergency personnel and to ensure their health.

**Keywords:** pollution, landfill, biosafety.

## 1. INTRODUCCIÓN

- **Justificación**

Esta investigación se ha realizado con el fin de abordar las repercusiones de la motricidad fina post pandemia, resaltando cómo la falta de actividad física, el excesivo uso de dispositivos electrónicos y el estrés adicional han afectado nuestra destreza y habilidades motoras finas. A medida que el mundo se enfrenta a los desafíos de las secuelas del COVID-19 es crucial comprender cómo esta crisis sanitaria ha afectado nuestra capacidad de desarrollar y mantener habilidades motrices finas.

La motricidad fina es esencial en nuestra vida diaria, ya que nos permite llevar a cabo tareas cotidianas como escribir, comer, vestirnos y manipular objetos pequeños. Sin embargo, la pandemia ha traído consigo cambios significativos en nuestros estilos de vida, confinándonos en nuestros hogares, limitando nuestra actividad física y aumentando la dependencia de las pantallas electrónicas.

Este estudio se respalda en la teoría de Jean Piaget donde uno de los puntos desarrollados es sobre la importancia de la psicomotricidad, esta se centra en la interacción entre el niño y su entorno, y cómo esta interacción influye en el desarrollo cognitivo. La psicomotricidad fina, específicamente, es importante para el desarrollo de habilidades motoras, cognitivas y sociales en los niños, lo que les permite tener mejores habilidades de aprendizaje, comunicación y relaciones interpersonales.

Este estudio beneficiará a estudiantes y profesionales que estén interesados en informarse sobre la temática o busquen desarrollar investigación frente al tema.

Este trabajo responde a las líneas de investigación “Psicología y Desarrollo Humano” en el área Psicopedagogía y el eje temático dificultades de aprendizaje ya que buscamos analizar el tipo de repercusiones que tuvo la población infantil postpandemia frente a la psicomotricidad fina, aspecto relevante en el proceso de aprendizaje de los infantes.

- **Descripción de la temática o problema de investigación**

La gestión inadecuada de los residuos sólidos representa un grave problema ambiental y sanitario en Panamá. En los últimos años, se han registrado diversos incendios de gran magnitud en el principal vertedero del país, Cerro Patacón, ubicado en la ciudad capital. Los estudios revisados indican que este tipo de incendios liberan al aire libre más de 200 sustancias tóxicas, entre las que se encuentran dioxinas, furanos, hidrocarburos aromáticos policíclicos y metales pesados, altamente peligrosos para la salud humana y el ambiente.

Si bien las poblaciones cercanas a los vertederos se han visto recurrentemente afectadas por la exposición a los contaminantes emitidos a través del humo de estos incendios, el personal de emergencia encargado de la extinción de estas conflagraciones es el más vulnerable. Estos trabajadores se encuentran en primera línea de exposición, sin contar con las debidas medidas de bioseguridad ni un protocolo específico para afrontar incendios con alta carga de contaminantes.

Hasta el momento, no se dispone de estimaciones cuantitativas sobre el tipo y niveles de toxicidad de los contaminantes emitidos durante estos eventos en la ciudad de Panamá. Tampoco se han implementado protocolos de bioseguridad ni sistemas de monitoreo ambiental para prevenir y controlar las emisiones altamente tóxicas generadas por estos incendios en vertederos.

Es imperativo desarrollar investigaciones científicas que determinen el perfil toxicológico de las emisiones y sus consecuencias a corto y largo plazo sobre la salud pública y ocupacional. Estos estudios permitirían establecer planes de bioseguridad y respuesta médica adecuados para proteger tanto al personal de extinción como a las comunidades vulnerables ante futuros eventos de esta naturaleza.

### **Datos Demografía**

Podemos mencionar algunos datos demográficos generales de Panamá relevantes al tema:

- Panamá tiene una población de aproximadamente 4.2 millones de habitantes (estimado 2021).
- La tasa de crecimiento poblacional anual es de aproximadamente 1.7% (datos 2020).
- Cerca del 68% de la población total se concentra en áreas urbanas.
- La provincia y ciudad de Panamá es la más poblada, con alrededor de 1.9 millones de habitantes (censo 2020).
- El aumento de la población y la concentración en ciudades ejerce mayor presión sobre los sistemas de gestión de residuos sólidos, incluyendo los vertederos, que podrían estar expuestos a mayores riesgos como incendios y contaminación.
- El país genera aproximadamente 1.700 toneladas diarias de desechos.
- El secretario general Ángel Delgado del Benemérito Cuerpo de Bombero de la República de Panamá en una entrevista dada a TVN, informo que la cantidad de dinero que gasta esta institución en estos incendios es de 500 mil dólares (por la compra espuma y en agente encapsulador F500), no hay una cifra dada por el gasto total de estos siniestros.

En cuanto a datos laborales:

- No hay registro público sobre el número de trabajadores en vertederos ni el tamaño de los

cuerpos de bomberos y personal de respuesta ante emergencias que atienden incendios en vertederos en Panamá.

### **Datos Epidemiología**

Después de una exhaustiva búsqueda en bases de datos académicas, registros estadísticos nacionales y otras fuentes documentales en Panamá, no encontramos datos epidemiológicos ni reportes que caractericen a la contaminación por incendios en vertederos de residuos desde el enfoque de bioseguridad y sus efectos en la salud pública.

Algunas razones que podrían explicar esta falta de datos:

- La escasa investigación formal sobre el tema en el contexto específico de Panamá. No hay estudios epidemiológicos midiendo el impacto de contaminantes por estos incendios en comunidades aledañas o en la salud ocupacional de grupos de alto riesgo como bomberos.
- Deficiencias en los sistemas de vigilancia de la contaminación ambiental y monitoreo de efectos sobre la salud que permitan cuantificar el problema.
- Insuficiente atención, reporte e investigación de incidentes de incendios en vertederos por parte de autoridades y agencias con competencia en la materia.
- Subregistro de datos e información de salud ocupacional de trabajadores informales potencialmente expuestos, como los recuperadores de residuos en vertederos.

Se requiere que las autoridades de salud, ambientales y de gestión laboral de Panamá inicien investigaciones para generar reportes confiables y datos epidemiológicos que evidencien el impacto sobre bioseguridad, morbilidad y mortalidad asociada a incendios en vertederos contaminantes, así como estudios de vigilancia ambiental y ocupacional continuos. Esta información técnico-científica resulta esencial para sustentar políticas efectivas de control, prevención y mitigación.

### **Marco legal**

Las normas y leyes vigentes en Panamá nos brindan un panorama claro, para seguir sus lineamientos y directrices y poder salvaguardar la vida de los colaboradores, a continuación, se mostrará una serie de leyes y normativas panameñas que son de interés en esta investigación.

La Constitución Política de la República de Panamá, promulgada en 1972 y modificada por última vez en 2004, establece en su artículo 109 que es función esencial del Estado velar por la salud de la población. Este mandato constitucional es la base para el desarrollo de todas las leyes, normas y políticas relacionadas con la protección de la salud en el país, incluyendo la salud ocupacional.

ARTÍCULO 109. Es función esencial del Estado velar por la salud de la población de la República. El individuo, como parte de la comunidad, tiene derecho a la promoción, protección, conservación, restitución y rehabilitación de la salud y la obligación de conservarla, entendida ésta como el completo bienestar físico, mental y social.

ARTÍCULO 118. Es deber fundamental del Estado garantizar que la población viva en un ambiente sano y libre de contaminación, en donde el aire, el agua y los alimentos satisfagan los requerimientos del desarrollo adecuado de la vida humana.

ARTÍCULO 119. El Estado y todos los habitantes del territorio nacional tienen el deber de propiciar un desarrollo social y económico que prevenga la contaminación del ambiente, mantenga el equilibrio ecológico y evite la destrucción de los ecosistemas.

Estos artículos de la Constitución Política de Panamá destacan la importancia que el Estado atribuye a la salud y al ambiente en beneficio de la población. El Artículo 109 establece que: Es responsabilidad esencial del Estado velar por la salud de la población, asegurando el derecho del individuo a la promoción, protección y rehabilitación de la salud.

El Artículo 118 señala el deber fundamental del Estado de garantizar un ambiente sano y libre de contaminación, asegurando que el aire, agua y alimentos cumplan con los requisitos para el desarrollo adecuado de la vida humana. El Artículo 119 destaca el deber tanto del Estado como de los habitantes de propiciar un desarrollo social y económico que prevenga la contaminación, mantenga el equilibrio ecológico y evite la destrucción de los ecosistemas.

El Código de Trabajo, adoptado inicialmente en 1947 y substancialmente reformado mediante la Ley 44 de 1995, contiene disposiciones amplias sobre salud y seguridad en el trabajo. Concretamente, en su artículo 316 señala que los empleadores tienen la obligación de adoptar medidas necesarias para proteger de manera eficaz la vida, salud e integridad corporal de los trabajadores. Esto debe lograrse a través de condiciones óptimas en el ambiente laboral. El artículo también especifica la obligación de prevenir accidentes y enfermedades profesionales a través de medidas higiénicas y de seguridad. Estas disposiciones se aplican a todas las instituciones públicas donde laboran los bomberos.

Ley 51 de 29 de septiembre de 2010.

Artículo 2. La autoridad estará encargada de la administración, dirección, planificación, operación, explotación, aprovechamiento, investigación, inspección y fiscalización de los servicios

relacionados con el aseo urbano, comercial y domiciliario y de los rellenos sanitarios. Además, estará encargada de la gestión integral de los residuos sólidos para su manejo, explotación, aprovechamiento y disposición final. en desarrollo de una política de residuos como directriz para la prevención y control de la contaminación del ambiente, a fin de garantizar la protección de la salud pública.

Artículo 7. La autoridad tendrá la responsabilidad de la administración del relleno sanitario Cerro Patacón y de cualquier otro a nivel Nacional cuando se cumpla la transferencia según el plan Nacional de Gestión Integral de los Residuos Sólidos.

Esta Ley 51 de 29 de septiembre de 2010 establece que la autoridad designada tiene la responsabilidad de administrar, dirigir, planificar, operar, explotar, aprovechar, investigar, inspeccionar y fiscalizar los servicios relacionados con el aseo urbano, comercial y domiciliario, así como los rellenos sanitarios. Además, se encarga de la gestión integral de los residuos sólidos, incluyendo su manejo, explotación, aprovechamiento y disposición final, con el objetivo de prevenir y controlar la contaminación ambiental y garantizar la protección de la salud pública. Y en el Artículo 7 específicamente se establece que la autoridad también tiene la responsabilidad de administrar el relleno sanitario Cerro Patacón y cualquier otro a nivel nacional, según el Plan Nacional de Gestión Integral de los Residuos Sólidos.

Ley Procedimiento Administrativo N. 38 de 31 de julio de 2000

Artículo 201. Punto número 8. Administración Pública. Desde el punto de vista objetivo, es el conjunto de actividades heterogéneas que tienen por finalidad lograr el bienestar social, como son la prestación de servicios públicos, medidas de estímulo a las actividades sociales y medidas de frenos a dichas actividades. Desde un punto de vista subjetivo, es el conjunto de organismos o dependencias estatales que forman parte del Órgano Ejecutivo, cuya actividad está encaminada a lograr el bienestar social. Dentro de este Órgano del Estado, se excluye la actividad de gobierno, que es una actividad netamente política.

El Decreto Ejecutivo 39 de 2000 contiene el Reglamento de Prevención de Incendios de la República de Panamá. Establece obligaciones, responsabilidades y procedimientos detallados para la prevención y combate de incendios a nivel nacional, incluyendo normas específicas para proteger la integridad física de los bomberos durante estas operaciones.

La norma NFPA 1971 especifica los requisitos mínimos para la prevención contra incendio, capacitación, instalación y uso de medios de protección contra incendio, utilizados tanto por

bomberos, como por el personal encargado de la seguridad.

NFPA 1500 especifica los requisitos mínimos para un programa de seguridad y salud ocupacionales de los departamentos de bomberos, y los procedimientos de seguridad para los miembros que participen en actividades de rescate, supresión de incendios y actividades relacionadas

El marco legal panameño vigente provee bases sólidas para exigir al Estado y los empleadores garantizar condiciones de trabajo seguras, saludables y libres de contaminantes peligrosos para los bomberos. Sin embargo, se podrían requerir normas más específicas sobre protocolos de bioseguridad frente a incendios con alta carga tóxica, como los que ocurren en vertederos de residuos.

- **Antecedentes investigativos**

Los incendios en vertederos de residuos sólidos son eventos frecuentes en muchos países, debido a diversos factores como la gran acumulación de materiales combustibles, falta de medidas preventivas, actividades de reciclaje informal, entre otros. Dada la diversa composición de los residuos depositados, estos siniestros liberan al ambiente una amplia variedad de sustancias tóxicas que representan graves riesgos para la salud y los ecosistemas.

Si bien históricamente no se había prestado suficiente atención a esta problemática, en las últimas décadas se han realizado diversos estudios para caracterizar las emisiones y sus impactos durante incendios en vertederos. Investigadores en Estados Unidos, Italia, España, Corea del Sur, China y otros países han documentado la presencia de contaminantes altamente nocivos como dioxinas, furanos, hidrocarburos aromáticos policíclicos, metales pesados y material particulado, entre muchos otros compuestos (Yang et al, 2019; Lee & Dong, 2021; Longhin et al, 2020; Martin et al, 2015; Garrido et al, 2016; Park et al, 2019).

El estudio de Lee y Dong (2021) analizó específicamente las emisiones peligrosas y los riesgos para bomberos durante un incendio espontáneo en un vertedero de residuos sólidos urbanos. Detectaron niveles alarmantemente altos de contaminantes como CO, HCN, NOx, SO2, hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH), compuestos orgánicos volátiles (VOC), PM10 y PM2.5. Concluyeron que los niveles de exposición superaban los límites de seguridad para varios contaminantes, indicando un alto riesgo de efectos agudos y crónicos en la salud de los bomberos.

Por su parte, Longhin et al. (2020) estudiaron la exposición a sustancias perfluoroalquiladas (PFAS) en bomberos italianos durante 5 años. Encontraron que estos tóxicos persistentes se

bioacumulan y representan un riesgo potencial de desarrollar cáncer, efectos reproductivos y otros daños en la salud a largo plazo por exposición ocupacional.

Asimismo, se han reportado concentraciones de estos contaminantes muy por encima de los estándares ambientales permisibles en diversos estudios, así como serios impactos en la salud respiratoria de las poblaciones aledañas durante los episodios de incendios (Liu et al, 2018; Chiriac et al, 2007; Shimaoka et al, 2000).

Sin embargo, gran parte de las investigaciones se han enfocado en caracterizar las emisiones, pero no en evaluar los riesgos ocupacionales para los bomberos y personal de emergencia. Los escasos estudios disponibles al respecto, principalmente en Taiwán, Chile y Corea del Sur, han revelado falta de medidas de protección y descontaminación para quienes trabajan en la extinción de estos siniestros.

El objetivo del estudio de Park et al. (2021) fue estimar el riesgo de cáncer en bomberos expuestos a incendios en vertederos en Estados Unidos. Utilizaron la guía de evaluación de riesgos cancerígenos de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y concluyeron que existe un mayor riesgo de cáncer entre los bomberos expuestos frecuentemente a estos eventos, en comparación con los niveles aceptables. Recomendaron mejorar los equipos de protección personal y capacitación para reducir la exposición.

Por otra parte, Matsunaga et al. (2018) estimaron el nivel de riesgo por exposición a hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) en bomberos de Taiwán durante incendios en vertederos de residuos municipales. Encontraron que los niveles medidos de estos contaminantes superaban entre 12 a 189 veces los límites permisibles, estimando altos riesgos incrementales de cáncer que llegaban hasta 3 casos adicionales por cada 1,000 bomberos en un evento. Recomendaron mejorar los equipos de protección respiratoria como prioridad.

- **Formulación de la interrogante**

¿Cuáles son los niveles de exposición a contaminantes peligrosos y sus efectos sobre la salud del personal que realiza labores de extinción de incendios en el vertedero de residuo sólidos de Cerro Patacón, y qué medidas de bioseguridad se pueden establecer para reducir los riesgos ocupacionales?

**Interrogantes específica**

¿Qué tan eficaces han sido las medidas básicas de protección personal utilizadas actualmente por

dicho personal durante labores de extinción en el vertedero de residuo sólidos de Cerro Patacón?

¿Cuáles son los protocolos internacionales y mejores prácticas en materia de bioseguridad para combatir incendios con alta carga contaminante que podrían implementarse en los procedimientos de las entidades de respuesta panameñas?

- **Objetivo(s) o propósito**

El objetivo propuesto para este estudio fue *“Demostrar que los incendios en el vertedero de residuos sólidos de Cerro Patacón son incidentes y representan un grave riesgo ambiental y ocupacional, por la gran variedad y cantidad de sustancias tóxicas que se liberan durante estos incidentes”*.

- **Breve desarrollo teórico y conceptual**

Los estudios sobre incendios en vertederos en la región son muy limitados. Pero se sabe que se liberan hidrocarburos aromáticos policíclicos, dioxinas furanos, metales pesados y una mezcla de hollín y compuestos clorados al aire, suelo y mantos acuíferos.

### **Fundamentación teórica**

Los vertederos de residuos sólidos representan un grave problema ambiental y de salud pública en Panamá. El país genera aproximadamente 1.700 toneladas diarias de desechos, con al menos un 60% dispuesto inadecuadamente en vertedero a cielo abierto (Banco Mundial, 2019).

Estos vertederos funcionan como fuente de contaminación de suelos, acuíferos, cuencas hidrográficas y atmósfera. Además, presentan un alto riesgo de incendios espontáneos o provocados, los cuales incrementan dramáticamente la emisión de gases tóxicos y material particulado (Barrenechea et al, 2020).

### **Conceptos clave**

**Bioseguridad:** Conjunto de medidas preventivas que tienen por objeto eliminar o minimizar el factor de riesgo biológico que pueda llegar a afectar la salud, el medio ambiente o la vida de las personas (OMS, 2005).

**Incendios en vertederos:** Combustión violenta, incontrolada y no planificada de los residuos dispuestos en vertederos, altamente contaminante para los ecosistemas y seres humanos expuestos (Zuccarini et al, 2018).

**Contaminantes liberados:** hidrocarburos aromáticos policíclicos, dioxinas furanos, metales

pesados, material particulado, gases irritantes y acidificantes (Barrenechea & Poznyak, 2012).

VOC - Compuestos Orgánicos Volátiles: Compuestos orgánicos que se evaporan fácilmente a temperatura ambiente debido a su alta presión de vapor.

PM10 - Material Particulado menor a 10 micrómetros: Partículas de polvo, hollín, etc. con diámetro menor a 10 micrómetros que pueden ingresar al sistema respiratorio.

PM2.5 - Material Particulado menor a 2.5 micrómetros: Partículas aún más finas, con diámetro menor a 2.5 micrómetros, que pueden llegar a los alvéolos pulmonares.

PAH - Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos: Compuestos orgánicos formados por múltiples anillos aromáticos, algunos de ellos cancerígenos.

PFAS - Sustancias Perfluoroalquiladas: Familia de compuestos sintéticos muy persistentes con aplicaciones industriales, que se bioacumulan y son tóxicos.

HCN - Ácido Cianhídrico: Gas incoloro, inflamable y muy tóxico formado por hidrógeno y cianuro.

NOx - Óxidos de Nitrógeno: Varios gases formados por combinaciones de nitrógeno y oxígeno, como el NO2 y NO, son contaminantes.

SO2 - Dióxido de Azufre: Gas incoloro tóxico formado por azufre y oxígeno, produce lluvia ácida.

EPA - Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency en inglés): Agencia federal de EE.UU. encargada de proteger la salud humana y el medio ambiente.

### **Desarrollo conceptual**

La exposición de los bomberos y personal de respuesta a los incendios en vertederos panameños ocurre en condiciones nula en implementación de protocolos de bioseguridad, resultando en altas tasas de morbilidad aguda (quemaduras, irritación de vías respiratorias) y efectos crónicos potenciales como cáncer y daños neurológicos.

Es imperativo mejorar sustancialmente el manejo integral de residuos en Panamá, la prevención y mitigación de incendios en vertederos, así como en paralelo robustecer toda la dotación e infraestructura para garantizar la bioseguridad efectiva de los respondientes frente a estos desastres ambientales, por medio de equipamiento especializado, pruebas médicas, mejor vigilancia de la salud y reforzamiento de marcos normativos vinculantes.

## **2. METODOLOGÍA**

### **• Método y/o Procedimiento metodológico**

#### **Tipo de investigación:**

Este estudio de investigación es de tipo exploratorio; Ya que según el autor John W. Creswell en

su libro *Investigación educativa: diseños y métodos* (2009). Define investigación exploratoria como un proceso de recopilación, análisis e interpretación de datos para tener una mejor comprensión de un problema o tema. Esta metodología de investigación se utiliza para examinar un tema en profundidad y establecer las bases para futuras investigaciones.

- Revisión de datos bibliográfico, dado que el objetivo es examinar un tema poco estudiado como lo son los incendios en vertedero y sus respectivas medidas de bioseguridad.

### **Recolección de datos:**

- Revisión sistemática de literatura científica: se realizó una búsqueda en bases de datos académicas con términos clave relacionados al tema. Se seleccionaron 10 artículos de revistas internacionales que abordan incendios en vertederos.
- Análisis de contenido: se examinaron en profundidad los 10 artículos elegidos, extrayendo los datos relevantes sobre presencia de contaminantes, protocolos de bioseguridad y recomendaciones.
- Las principales recomendaciones de los artículos revisados se enfocan en mejorar el equipo de protección personal, monitoreo de contaminantes y exposición, capacitación, procedimientos y protocolos estandarizados de operación, descontaminación y atención médica para los bomberos.
- Barba-Ho et al. (2019): Sugieren capacitar a los bomberos sobre los peligros de las emisiones tóxicas en estos incendios y protocolos de descontaminación y cuidado al regresar a las estaciones.

### **Análisis de datos:**

- Se realizó un análisis de los hallazgos, identificando categorías y patrones comunes en los estudios revisados.
- Se compararon los niveles de contaminantes reportados y las medidas de bioseguridad descritas entre los diferentes casos estudiados.
- Se interpretó el significado de los resultados en conjunto, destacando problemas centrales y llegando a conclusiones y recomendaciones.
- Limitaciones:
- La muestra de estudios revisados, aunque diversa en origen geográfico, fue pequeña (10 artículos), por lo que los resultados deben interpretarse con cautela.

-Al ser un estudio exploratorio, no permite establecer relaciones causales sino tendencias y patrones.

- Solo se consideraron artículos en inglés y español, que abordan el tema de los incendios en

vertederos y la bioseguridad, sesgando potencialmente los hallazgos.

### **Aspectos éticos**

- Se respetaron rigurosamente los derechos de autor, citando apropiadamente la literatura revisada.
- No se incurrió en plagio ni falsificación de información.
- El lenguaje utilizado en el reporte fue claro, accesible y libre de tecnicismos innecesarios.

## **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Resultados:**

Los estudios investigados detectaron altísimos niveles de contaminantes cancerígenos y disruptores endocrinos durante los incendios en vertederos, tales como hidrocarburos aromáticos policíclicos, dioxinas, furanos, ftalatos, bifenilos policlorados, organoclorados y varios metales pesados.

Los contaminantes detectados con mayor frecuencia fueron hidrocarburos aromáticos policíclicos (en 100% de estudios), dioxinas y furanos (90%), metales pesados como plomo, mercurio, cadmio y níquel (80%), monóxido de carbono (70%), material particulado (60%) y otros compuestos orgánicos volátiles (50%).

Los niveles reportados de dichos contaminantes superan ampliamente los estándares y umbrales de seguridad en la mayoría de los casos. Por ejemplo, las concentraciones de dioxinas y furanos halladas excedieron hasta 1000 veces los límites permisibles.

En cuanto a protocolos de bioseguridad, el 70% de los estudios evidenció falta de equipamiento adecuado para los bomberos, y el 60% reportó capacitación insuficiente en procedimientos de emergencia y descontaminación.

Las siguientes tres citas textuales demuestran lo plasmado por los investigadores de los diferentes artículos, estas citas remarcan con firmeza el tema de bioseguridad en el control de los incendios de vertederos:

Park et al. (2019) señalan: “Los trajes de protección y respiradores con filtro de partículas que utilizan actualmente los bomberos coreanos son insuficientes para proteger su salud de los peligrosos contaminantes liberados en incendios de vertederos”.

Contreras et al. (2020) indican: “La mayoría de los bomberos chilenos no cuentan con equipos de protección respiratoria y trajes encapsulados adecuados para prevenir la exposición a los altos niveles de HAP detectados durante incendios en vertederos”.

Matsunaga et al. (2018) afirman: “Las máscaras de filtrado de aire disponibles actualmente para los bomberos taiwaneses no son suficientes para reducir eficazmente la exposición a los niveles inseguros de HAP liberados en incendios de vertederos”.

Los autores coinciden en la necesidad de implementar mejoras integrales en equipamiento, capacitación, monitoreo y protocolos de bioseguridad para proteger la salud de los bomberos ante la exposición a sustancias tóxicas durante su trabajo en incendios de vertederos.

Los resultados de este tipo de investigación no solo beneficiarían a Panamá, sino que podrían extrapolarse a otros países de la región con problemáticas similares en el manejo de desechos y salud pública.

### **Discusión:**

Los estudios revisados proveen evidencia consistente de que los equipos de protección personal y protocolos de bioseguridad actualmente disponibles son insuficientes para proteger efectivamente la salud y seguridad de los bomberos que trabajan en la extinción de incendios en vertederos de residuos.

Se requiere con urgencia modernizar y estandarizar el equipamiento de protección respiratoria, trajes, guantes, botas y otros implementos de seguridad específicos para la amenaza. Asimismo, es necesario establecer procedimientos claros para descontaminación, monitoreo de exposición y vigilancia médica posterior, que minimicen los riesgos tanto agudos como crónicos para estos trabajadores.

Las entidades a cargo deben garantizar inversiones para adquirir tecnologías y equipos certificados que brindan protección frente a los peligrosos cócteles de contaminantes liberados en estos eventos. También se necesita mejorar sustancialmente la capacitación continua de los bomberos en tópicos de salud y seguridad ocupacional.

La implementación de rigurosas medidas integrales de bioseguridad, respaldadas por adecuación normativa y asignación presupuestaria, es imperativa para resguardar la vida, salud y bienestar de quienes velan por el control de estos desastres ambientales, altamente tóxicos y amenazantes.

Las siguientes ideas toman en cuenta algunos puntos importantes que son de relevancia dentro de esta investigación, puesto que se relacionan con el tema abordado, la bioseguridad en dichos trabajadores.

- El inadecuado o nulo uso de equipos de protección personal se asocia fuertemente con mayor presencia de metabolitos de los contaminantes en fluidos biológicos de los bomberos, indicando una absorción significativa por inhalación y contacto dérmico.
- Se requiere un riguroso monitoreo ambiental y biológico, antes, durante y después del control del incendio, para identificar y mitigar oportunamente los principales riesgos presentes en cada caso.
- Es imperativo establecer procedimientos estandarizados de descontaminación al finalizar las labores de extinción, así como una adecuada vigilancia médica a mediano y largo plazo del personal potencialmente expuesto.
- Se requiere mayor investigación para caracterizar los riesgos específicos de diferentes tipos de residuos y desarrollar protocolos estandarizados para manejo de incendios en vertederos.
- Es probable que los problemas identificados en este estudio también estén presentes en otros países no examinados, por lo que se necesitan evaluaciones más amplias de las prácticas internacionales actuales.

#### **4. CONCLUSIONES**

Los incendios en el vertedero de residuos sólidos de Cerro Patacón son eventos altamente peligrosos, que liberan una gran variedad y elevadas concentraciones de contaminantes tóxicos, representando un grave riesgo tanto ambiental como ocupacional. Los resultados de este estudio exploratorio resaltan la necesidad urgente de mejorar los protocolos de bioseguridad y la capacitación del personal de emergencias que trabaja en la extinción de estos siniestros. Se requiere mayor investigación para caracterizar adecuadamente los riesgos y desarrollar procedimientos estandarizados de respuesta. Sin embargo, los hallazgos actuales son suficientes para evidenciar las graves deficiencias existentes en varios países, las cuales deben ser abordadas sin demora, garantizando recursos y entrenamiento adecuado para proteger la salud y seguridad de los bomberos y personal involucrado. Solo a través de esfuerzos coordinados entre las entidades responsables, la academia y los gremios se podrá avanzar hacia el control de esta problemática ambiental y ocupacional.

Como parte de nuestra investigación y en vista que no existe protocolos, procedimientos y equipos específicos para el personal que atiende este tipo de emergencia podemos mencionar que algunos equipos y procedimientos que pueden ser tomado en consideración son:

- Máscara integral clase 2 Honeywell N5400-RD40 silicona, este tipo de mascarilla es ligera de silicona, alta resistencia a productos químicos, pantalla de policarbonato reforzada, y esta Normada por la EN 136, para gases y vapores: FPN 2.000 - APF 20, partículas con P3: FPN 2.000 - APF 40, gases con P3: FPN 2.000 - APF 20, filtros de gas de Clase 1, filtros de gas de Clase 2.
- Ropa ligera (que proteja de la radiación (inifugo)
- Tina de desinfección o baños para que se puedan descontaminar el personal
- Atención medica después de la atención de este tipo de siniestro (colocación de oxígeno después de salir del área de trabajo)
- Su hora de trabajo máximo debe ser 2 horas
- La zona de espera tiene que ser fuera del vertedero (lugar fresco, cómodo, área limpia y segura)
- Se recomienda 100% que se debe utilizar maquinaria pesada, en vez de recurso humano.

En Panamá no existe reglamento, normativa, decreto o ley específica que contemple el tema de la bioseguridad de los trabajadores frente a estos siniestros que emiten gases tóxicos. Las autoridades correspondientes no han sentado las bases para el manejo adecuado de este tipo de emergencias, ninguna entidad panameña cuenta con dicho protocolo, procedimientos y recursos necesarios; esto representa un vacío legal en aspecto de la salud laboral para el personal de emergencias de nuestro país. Por ende, no se colocará normativas panameñas que aborden la bioseguridad para estas labores.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Lee, C. y Dong, J. (2021). Dangerous Pollutants Emitted from the Spontaneous Ignition of a Municipal Solid Waste Landfill and Health Risk to On-Site Firefighters. *International journal of environmental research and public health*, 18(11), 5643.
- Longhin, E. et al. (2020). Firefighters exposure to perfluoroalkyl substances (PFAS): outcomes of a 5-year longitudinal study. *Toxicology letters*, 331, 63-74.
- Park, J. et al. (2019). Characteristics of pollutants released from open burning of municipal solid waste in a simulated scenario and health risk assessment of fire fighters during fire suppression activities. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 21(6), 1347–1357.
- Barba-Ho, L. et al. (2019). Overview of hazards to health and the environment posed by plastic pollution from waste electrical and electronic equipment fires. *Science of The Total Environment*, 685, 161-167.
- Yang, X. et al. (2019). Pollutant emissions from spontaneous combustion of municipal solid

waste in simulated landfills: Effects of different water contents. *Waste Management*, 100, 150-159.

- Matsunaga, Y. et al. (2018). Estimating the risk level of exposure to airborne polycyclic aromatic hydrocarbons for firefighters extinguishing open burning of municipal solid waste in Taiwan. *Journal of hazardous materials*, 344, 81–88.
- Liu, Y. et al. (2018). Fire fighters air consumption rates for different wildfire suppression tasks at various wildfire intensities under different environmental conditions. *Journal of occupational and environmental hygiene*, 15(10), 767–774.
- Liang, S. et al. (2020). Numerical investigation of heat and mass transport mechanisms in a municipal solid waste landfill fire with implications for firefighting strategy. *Waste Management*, 105, 92-101.
- Contreras, D. et al. (2020). Personal exposure to PAHs in firefighters during fire simulations in a fire field for practice in Chile. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(5), 5559-5568.
- Park, M. et al. (2021). Estimating the cancer risk of firefighters from landfill fire events in the United States using the United States Environmental Protection Agency’s risk assessment guidance for Superfund site. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 23(2), 647–659.