

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE QUÍMICA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería  
Ambiental

**“Análisis retrospectivo de la existencia y uso de mercurio en Costa Rica: un aporte  
para el cumplimiento del Convenio de Minamata”**

Ana Victoria Rodríguez Zamora

CARTAGO, mayo, 2021

**TEC** | Tecnológico de Costa Rica  
Ingeniería Ambiental

**“Análisis retrospectivo de la existencia y uso de mercurio en Costa Rica: un aporte para el cumplimiento del Convenio de Minamata”**

Informe presentado a la Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Ambiental con el grado de licenciatura

**Miembros del tribunal**

---

**M.Sc. Carlos Calleja Amador**  
**Director**

---

**Ph.D. Fabio Araya Carvajal**  
**Lector 1**

---

**Ph.D. Isaac Céspedes Camacho**  
**Lector 2**

---

**M.Sc. Diana Zambrano Piamba**  
**Coordinador COTRAFIG**

---

**M.Sc. Ricardo Coy Herrera**  
**Director Escuela de Química**

---

**MSc. Ana Lorena Arias Zúñiga**  
**Coordinadora Carrera de Ingeniería Ambiental**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado a todas las personas que no le tuvieron miedo a hacer las cosas diferentes y tomar nuevas formas de ver los problemas.

“La historia no puede darnos un programa para el futuro, pero puede darnos una comprensión más completa de nosotros mismos, y de nuestra condición humana, de modo que podamos afrontar mejor el futuro.”

Robert Penn Warren

## **AGRADECIMIENTOS**

Primero y más importante agradecer a la Santísima Trinidad que logré llegar a este punto de mi vida de su mano y guía. A Carlos Rodríguez y a Ioana Zamora por ser los pilares de mi vida, que a pesar de sus errores siempre me ayudaron a ser mejor cada día. A Catalina y Daniel Rodríguez, por estar siempre ahí y apoyarme a su manera. A Marco Alejandro Lucio por todo su apoyo, su paciencia y dedicación en ayudarme a lo largo del proceso, ya fuera con su tiempo, con palabras de motivación o simplemente para escucharme en los momentos más difíciles y desesperantes. A todos mis compañeros de Ambiental que estuvieron para mí cuando los necesité, especialmente a Fabiola Solano, por ser mis ojos en un momento de incapacidad y que realmente los necesitaba. A los profesores de la carrera de ingeniería ambiental y de la escuela de química que me guiaron y acompañaron a lo largo de mi carrera. A ellos les debo el amor por la carrera y las ganas de querer aportar mi granito de arena para hacer de este mundo un lugar mejor. A Gina y Fernando Zamora que me dieron aliento y energías en los momentos que más lo necesitaba. Y, por último, pero no menos importante, a mi tutor Carlos Calleja Amador, que fue el que estuvo desde el inicio. Agradecerle el tiempo dedicado y apoyo incondicional. Fue el que me impulso a dar lo mejor de mí siempre, hasta el final.

## LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AMAP	Artic Monitoring and Assessment Program
$\text{CH}_3\text{Hg}^+$	Ion monometilmercurio
$(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$	Dimetilmercurio
DDT	Dicloro Difetil Tricloropentano
DIGECA	Dirección de Gestión de Calidad Ambiental
EPA	Environmental Protection Agency
Hg	Mercurio
HgS	Sulfuro de mercurio
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONU	Organización de Naciones Unidas
PMUMA	Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Resumen de los artículos del Convenio de Minamata relacionados con el objetivo de este trabajo. (ONU, 2019).....	24
Cuadro 2. Denuncias de terrenos para la minería de mercurio (minería de azogue) en el período comprendido entre 1876 y 1908, registradas en el Archivo Nacional de Costa Rica.....	35
Cuadro 3. Denuncias de minas de oro más importantes en 1892.....	39
Cuadro 4. Resumen de las entrevistas realizadas a expertos del tema de minería de mercurio en el país.....	48
Cuadro 5. Inventario del mercurio liberado al ambiente por la minería en Costa Rica.....	50
Cuadro 6. Cantidad de Hg perdido por metro de mina en las distintas minas de Costa Rica en el primer ciclo minero.....	52
Cuadro 7. Contenido de mercurio de lámparas T12 (miligramos por lámpara).....	53
Cuadro 8. Escenario 1: Cantidad de mercurio estimado utilizando los datos del Archivo Nacional por iluminación pública utilizando los datos de los documentos encontrados.....	53
Cuadro 9. Escenarios 2, 3 y 4 para la reconstrucción histórica de mercurio en luminaria pública.....	54
Cuadro 10. Resumen de la cantidad de mercurio encontrado en Costa Rica por la reconstrucción histórica.....	55
Cuadro 11. Exportaciones Costarricenses a Inglaterra (en pesos).....	83
Cuadro 12. Acuñación de Metales Preciosos (en pesos) de 1829 a 1843.....	84
Cuadro 13. Valor en pesos de las exportaciones mineras de oro Primera Fase.....	85
Cuadro 14. Valor en pesos de las exportaciones mineras de oro Segunda Fase.....	86
Cuadro 15. Resumen de hallazgos y resoluciones de la investigación histórica del mercurio a nivel nacional.....	89

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Ubicación y cantidad de denuncias de minas de azogue en Costa Rica, entre los años 1876 - 1908. ....	37
Figura 2. Carta del Secretario municipal de Desamparados al departamento de Licitaciones de la Contraloría General de la República para la compra de 50 lámpara de mercurio. ....	44
Figura 3. Factura de la municipalidad de Goicoechea para el mes de noviembre de 1967 para la compra de 119 tubos fluorescentes (que utilizan mercurio). ....	45

# Tabla de Contenidos

<b>RESUMEN.....</b>	<b>10</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>12</b>
1.1 <i>OBJETIVOS.....</i>	14
1.1.1 Objetivo general .....	14
1.1.2 Objetivos específicos.....	14
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>15</b>
2.1. <i>EL ANÁLISIS HISTÓRICO Y SU VALOR A NIVEL AMBIENTAL.....</i>	15
2.1.1. Aportes del análisis histórico en la identificación de problemáticas ambientales a nivel global.....	16
2.1.2. Análisis históricos para la reconstrucción de información ambiental acerca del mercurio	18
2.2. <i>CONTEXTO HISTORICO AMBIENTAL DEL CONVENIO DE MINAMATA.....</i>	22
2.2.1. Breve descripción del Convenio de Minamata sobre mercurio.....	23
2.2.2. El Convenio de Minamata y su implementación en Costa Rica.....	27
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>31</b>
3.1. <i>REVISIÓN DE FUENTES DOCUMENTALES .....</i>	31
3.2. <i>ENTREVISTAS A EXPERTOS.....</i>	31
3.3. <i>RECONSTRUCCIÓN HISTÓRICA DE LIBERACIONES DE MERCURIO.....</i>	32
3.3.1. Reconstrucción de los ciclos mineros.....	32
3.3.2. Reconstrucción de la iluminación pública.....	33
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>35</b>
4.1. <i>REVISIÓN DE FUENTES DOCUMENTALES DE LA PRESENCIA Y USOS DEL MERCURIO EN COSTA RICA.....</i>	35
4.1.1. Hallazgos acerca de la presencia de mercurio en suelo costarricense para su explotación. ....	35
4.1.2. Uso del mercurio para la extracción aurífera por amalgamación en Costa Rica. ....	38
4.1.3. Otros usos del mercurio en el país: luminarias para el alumbrado público. ....	44
4.2. <i>ENTREVISTAS A EXPERTOS.....</i>	47
4.3. <i>RECONSTRUCCIÓN HISTÓRICA DE LIBERACIONES DE MERCURIO.....</i>	49
4.3.1. Reconstrucción histórica de la minería.....	50
4.3.2. Reconstrucción histórica de la iluminación pública.....	52

4.3.3.	Resumen de la reconstrucción histórica total.....	55
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>57</b>
<b>6.</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>59</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>74</b>
	<b>ANEXO 1: Machote de Entrevistas a geólogos del país.....</b>	<b>75</b>
	<b>ANEXO 2: Entrevistas transcritas a cada profesional. ....</b>	<b>76</b>
	<b>ANEXO 3: Especificación histórica de la reconstrucción histórica del mercurio en Costa Rica por la minería de oro.....</b>	<b>83</b>
	<i>Reconstrucción aproximada del uso de mercurio durante el primer ciclo minero .....</i>	<i>83</i>
	<i>Reconstrucción aproximada del segundo ciclo minero .....</i>	<i>85</i>
	<b>ANEXO 4: Informe Ejecutivo de hallazgos históricos sobre el uso y presencia del mercurio en Costa Rica. ....</b>	<b>88</b>

## RESUMEN

Los efectos nocivos para la salud originados por la distribución global del mercurio son ampliamente conocidos. Reconociendo esta situación, los países miembros de la Organización de Naciones Unidas, suscribieron el Convenio de Minamata sobre Mercurio. Este convenio establece medidas para mitigar la incorporación y redistribución del mercurio. Existen estudios con proyecciones al año 2050 que describen escenarios pesimistas frente a la distribución de este contaminante si no se toman medidas. Estas proyecciones han sido formuladas sobre estimaciones por el uso de materias primas o la producción industrial en donde se utiliza mercurio directamente o bien en los residuos generados. Existe un apartado del Convenio que establece las disposiciones para el control de liberaciones al agua y al suelo. Entre las fuentes de liberaciones se podrían considerar sitios con acumulación de mercurio que han pasado desapercibidos porque los esfuerzos han estado orientados hacia el inventario de existencias y procesos en el presente, o en la formulación de las proyecciones a futuro. Hay interés por identificar el origen de esta acumulación en sitios específicos por medio del desarrollo de un análisis histórico. Costa Rica es parte de los países que se comprometieron a proteger la salud humana de esta amenaza con su firma en el Convenio. Este trabajo busca como objetivo principal realizar una reconstrucción histórica de las liberaciones aproximadas de mercurio a partir de registros disponibles en el país. Concluyendo principalmente que, en la historia del país existieron dos principales usos del mercurio: en la minería de oro y en la iluminación pública. La minería resultó tener impactos significativos en la liberación de mercurio en el país. Se cuantificaron teóricamente más de 145 toneladas de mercurio liberados gracias a esta actividad dada en la antigüedad en Costa Rica.

**Palabras clave:** *Mercurio, Análisis Histórico, Reconstrucción Histórica, Convenio de Minamata.*

## ABSTRACT

The harmful health effects caused by the global distribution of mercury are widely known. Recognizing this situation, the United Nations and its parties, signed the Minamata Convention on Mercury. This agreement establishes measures to mitigate the incorporation and redistribution of mercury. There are studies with projections to the year 2050 that describe pessimistic scenarios regarding the distribution of this pollutant if no measures are taken. These projections have been formulated based on estimates for the use of raw materials or industrial production where mercury is used directly or in the waste generated. There is a section of the Convention that establishes the provisions for the control of releases to water and soil. There are sites with accumulation of mercury that have gone unnoticed because efforts have been oriented towards the inventory of existence and processes in the present, or in the formulation of future projections. These sites can be considered among the sources of releases to water and soil. There is interest in identifying the origin of this accumulation in specific places through the development of a historical analysis. Costa Rica is one of the countries that pledged to protect human health from this threat by signing the Convention. The main objective of this work is to carry out a historical reconstruction of the approximate releases of mercury from records available in the country. Mainly concluding that, in the history of the country, there were two main uses of mercury: in gold mining and in public lighting. Mining turned out to have significant impacts on the release of mercury in the country. Theoretically, more than 145 tons of mercury released due to this ancient activity in Costa Rica were quantified.

**Key words:** *Mercury, Historical Analysis, Historical Reconstruction, Minamata Convention.*

# 1. INTRODUCCIÓN

El mercurio (Hg) es un metal pesado y es el único elemento metálico líquido a temperatura ambiente, está distribuido en la corteza terrestre y puede ser liberado al ambiente en forma natural por emisiones volcánicas, y algunas veces por evaporación. Su forma más abundante es como cinabrio, un mineral rojizo cuya composición contiene principalmente sulfuro de mercurio (II), HgS (López & Martínez, 2018). Otra fuente de emisiones es de origen antrópico debido a la variedad de usos que tiene. Como consecuencia de los usos que se le han dado al mercurio, en Alemania y Francia existieron publicaciones acerca de los efectos tóxicos del mercurio y descripciones clínicas de intoxicación ocupacional desde el siglo XVI (Faro et al., 2010). Sin embargo, no fue sino hasta después del incidente en la Bahía de Minamata, Japón, donde un efluente industrial descargado directamente en el mar entre 1932 y 1968, que el mercurio pasó a ser identificado como un contaminante medioambiental peligroso mundialmente controlado (Faro et al., 2010). El mercurio (principalmente como ion monometilmercurio,  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ , y como dimetilmercurio,  $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ , que son dos de las formas más tóxicas conocidas, producto de la transformación microbiana del mercurio elemental), se incorporó a la cadena alimentaria por medio de la bioacumulación y biomagnificación en la fauna marina. Los pobladores de Minamata, pescadores en su mayoría, sufrieron intoxicaciones y algunos incluso la muerte. La contaminación provocada por este elemento cuenta con un impacto significativo gracias a que puede migrar fácilmente entre las tres matrices ambientales (agua, suelo y aire), tanto a escala global como local. Además, su persistencia, bioacumulación y biomagnificación hacen del mercurio altamente nocivo (López & Martínez, 2018).

La identificación de problemas ambientales y la formulación de potenciales soluciones para atenderlos, son complejas. Dicha complejidad surge del desconocimiento de la mayoría de los antecedentes históricos asociados a las actividades a partir de las cuales se originaron, así como del contexto geográfico. Muchos eventos contaminantes han sido identificados y aceptados hasta años después de que las actividades, a partir de las cuales se originaron, fueron comprendidas como dañinas. De aquí la importancia de entender los problemas ambientales dentro de un contexto histórico. Al estudio de las interacciones entre los seres humanos y los ecosistemas a lo largo de diferentes períodos históricos se le conoce como análisis histórico ambiental (Gallini, 2005).

El presente trabajo pretende demostrar la utilidad del análisis histórico en Costa Rica. Se realizó la revisión de documentos históricos para poder identificar el uso y presencia de mercurio en el país, así como las implicaciones que esto pueda tener (puntos de contaminación y cuantificación de cantidades de mercurio). Esto, por medio de una reconstrucción histórica de liberaciones de mercurio a partir de registros disponibles en el país desde 1876 hasta 1973. Esta reconstrucción pretende ser un aporte para el análisis histórico acerca de la presencia, uso y dispersión de mercurio en Costa Rica, así como como una contribución para la implementación del Convenio de Minamata, del cual el país es signatario. Complementariamente, se espera que este trabajo sea un aporte para orientar a futuras propuestas tanto en temas de educación pública como en materia de análisis de cuantificación de mercurio disponible en sitios que no se tenían contemplados actualmente; así como una herramienta que ayude a la capacitación e implementación de un programa de educación histórica y de la problemática del mercurio dentro del país.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo general

Analizar históricamente la presencia y uso de mercurio en Costa Rica, como herramienta para la implementación del Convenio de Minamata.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Identificar fuentes históricas de usos de mercurio potencialmente significativas desde 1821 hasta 1973.
- Estimar las cantidades de mercurio liberadas a partir de la información histórica recuperada de fuentes potencialmente significativas para las cuales haya información disponible.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. EL ANÁLISIS HISTÓRICO Y SU VALOR A NIVEL AMBIENTAL

El valor del análisis histórico ambiental en la identificación y solución de los problemas ambientales ha sido ampliamente documentado (Burket, 2008). Algunos autores señalan la necesidad de tener en cuenta las características culturales y el contexto local (social, político y económico) en el que ocurrió la problemática. La formulación de estrategias para la mitigación de daños e impactos ambientales sobre la base de dicho contexto resulta más efectiva (Vargas, & Estupiñán, 2012). El análisis histórico se ha considerado parte importante en la formulación de nuevos paradigmas ambientales. Por ejemplo, los paradigmas del desarrollo sostenible, o el abordaje *Glocal* son, en parte, el resultado de análisis históricos (Idrobo & Casas, 2014).

Un paradigma mencionado por Idrobo y Casas es la *Protección Ambiental*. Este término fue acuñado en 1970. Surgió a partir de la preocupación por el impacto del crecimiento del capital económico a expensas de la degradación del capital natural. Otro paradigma descrito por los mismos autores (Idrobo y Casas, 2014) es la *Gestión Ambiental Integrada*. Éste surgió a partir de 1990, asociado al manejo responsable de residuos, tanto ordinarios como peligrosos, en condiciones del permanente crecimiento económico. Ambos paradigmas abordan la evolución de conceptos propios de la prevención del impacto ambiental de origen antrópico, y son relevantes en el análisis de las limitaciones experimentadas para alcanzar la sostenibilidad ambiental a lo largo del tiempo. Esto facilita considerar los eventos en un contexto local temporal y adoptar mejoras significativas en el futuro. Un alcance importante es su utilidad en el aporte de argumentos que fundamenten rigurosamente la identificación de eventos contaminantes potencialmente desapercibidos, con la adopción de medidas correctivas en el menor plazo posible (Cuellar *et al.*, 2010).

Una vez formulado, el análisis histórico conserva un valor didáctico como recurso para la educación ambiental. Sandoval (2012) ha planteado argumentos que describen cómo la educación ambiental depende de aspectos colectivos -como la cultura y la producción-, y también individuales -como la conducta frente a diferentes condiciones- que son comunes al

análisis histórico. Por esta razón, el análisis histórico permite conocer patrones individuales y colectivos, facilitando la actualización de contenidos para la educación ambiental de la población, y la sensibilización de las nuevas generaciones.

### **2.1.1. Aportes del análisis histórico en la identificación de problemáticas ambientales a nivel global**

El análisis histórico de diferentes problemas ambientales ha permitido identificar los periodos de mayor liberación de agentes contaminantes a partir de la reconstrucción retrospectiva de información histórica con interés ambiental, y del análisis isotópico del mercurio usado como herramienta de datación histórica. Por ejemplo, Vorobiova, *et al* (1999) realizaron un estudio histórico acerca de las emisiones de radionúclidos en el río Techa, Rusia. Su estudio permitió descubrir que fue en los primeros años de operación de la empresa *The Mayak Production Association*, cuando las emisiones representaron más del 95% del total medido. Esta empresa fue la primera empresa rusa dedicada a la separación del plutonio entre 1948-1955. Con base en su análisis histórico, lograron reconstruir los valores de las dosis de radionúclidos descargadas en el río en los primeros años (de 1949-1951) de funcionamiento de la empresa.

Bing, *et al* (2011) realizaron un análisis histórico de la contaminación por metales pesados y su origen en sedimentos del lago Xijiu y el Taihu en China. El objetivo del estudio fue rehabilitar el ambiente acuático y mejorar la calidad del agua. Para ello resultó necesario reconstruir históricamente los valores de las descargas de la fuente contaminante original, así como la concentración acumulada a lo largo del período de estudio en el sitio y la variabilidad histórica de los niveles de concentración.

Wang *et al* (2013) realizaron un estudio acerca de la contaminación por residuos organoclorados en sedimentos del río Daling, en el noreste de China. Entre los hallazgos, los investigadores concluyeron que no se habían realizado búsquedas históricas acerca del origen más probable de la contaminación y sus efectos. Con su trabajo buscaron determinar información sobre la distribución, fuente, contaminación histórica y el riesgo asociado a los compuestos en este río. Por medio del análisis histórico determinaron cuál era el tipo de contaminante más abundante en los sedimentos, relacionando cada compuesto con su uso histórico.

Santschi *et al* (2001), estudiaron algunos contaminantes en el río Mississippi. Lograron ampliar sus resultados realizando una búsqueda histórica acerca de contaminantes encontrados en el pasado por otros investigadores. Uno de los resultados obtenidos por este estudio fue que todavía se encuentran rastros de contaminantes como el DDT (Dicloro Difeníl Tricloroetano) en concentraciones de 1 a 1,5 ppm en el año 2000, prohibido desde 1970. Los autores concluyeron que el DDT y otros plaguicidas permanecen en concentraciones del orden de trazas, como consecuencia de erosión por deposición fluvial de las tierras de cultivo aledañas al río, que aún no han sido completamente purgadas de los plaguicidas usados antes de los años setenta. Este trabajo constituye un aporte al estudio de la movilidad de compuestos persistentes a lo largo del tiempo.

Otros autores utilizaron el análisis histórico para fundamentar sus investigaciones y discutir sus hallazgos. Esto les permitió alcanzar conclusiones más contundentes. Por ejemplo, Juracek (2008) investigó acerca de los efectos históricos de la minería de plomo y zinc en Empire Lake, Kansas, Estados Unidos, descubriendo que, aunque la minería se había terminado desde 1920 en la zona, 50 años después las concentraciones de los contaminantes se mantenían relativamente estables y seguían siendo un problema. Sivey y Lee (2007) crearon un perfil de recuperación de sedimentos en un período de dos décadas, para estudiar la contaminación por policlorobifenilos en el lago Hartwell, en Carolina del Sur Estados Unidos. Fox *et al* (2001) trazaron la contaminación histórica por compuestos organoclorados persistentes en el Noroeste de Inglaterra.

Otro ejemplo es el reconocimiento internacional acerca de la contaminación por mercurio en la Bahía de Minamata, Japón, a inicios de la década de 1950. Después de un poco más de una década de descargas de efluentes industriales con mercurio, hubo consenso internacional acerca de las elevadas concentraciones de mercurio elemental en el agua de la Bahía y en las capturas de los pescadores. Y también en atribuir al mercurio la incidencia de desórdenes neurológicos en la población, que años después fueron definidos como la enfermedad de Minamata, por exposición crónica al mercurio elemental y al metilmercurio (Harada, 1978).

### **2.1.2. Análisis históricos para la reconstrucción de información ambiental acerca del mercurio**

La contaminación por mercurio continúa generando interés en el control de sus emisiones, pero sobre todo para prevenir su acumulación ambiental. En los siguientes párrafos se describen algunos estudios fundamentados en análisis históricos del mercurio. El análisis histórico de mercurio requiere la datación estimada a partir de la abundancia isotópica de varios isótopos (el mercurio tiene seis isótopos conocidos). También se mencionan estudios prospectivos cuyo objetivo es predecir el efecto de las tendencias de la información histórica en los próximos años.

Corella *et al* (2017) utilizaron análisis geoquímicos para reconstruir los patrones de deposición atmosférica de mercurio y plomo en el lago Montecortés, España. La reconstrucción abarcó un período de 700 años. Este estudio buscaba, entre otras cosas, identificar los periodos históricos de aumento en las concentraciones de ambos metales. Los autores determinaron que la contaminación por ambos metales pesados comenzó cerca de 1550. Esa época estuvo caracterizada por el incremento en la explotación de recursos geológicos y por el clima. El ambiente frío y húmedo, particular de la región durante ese lapso de 700 años, fue afectado por “la Pequeña era de Hielo”. Esa época favoreció la deposición húmeda del mercurio elemental ubicado en la atmósfera. El estudio concluyó que el pico de acumulación de mercurio se ubicó alrededor de 1940. En esa época inició sus operaciones una de las mineras más grandes a nivel mundial ubicada en Almadén, España. Dentro del mismo período, tuvo lugar la Segunda Guerra Mundial, que se distinguió por la necesidad de materias primas y explotación de recursos naturales. Complementariamente, a partir de su análisis, los investigadores ofrecieron un contexto para interpretar correctamente los patrones de contaminación actual por mercurio (y también por plomo). Estudios como el de Corella *et al* (2017) demuestran que la contaminación por mercurio trasciende épocas y fronteras.

Kang *et al* (2016) estudiaron la concentración de mercurio en sedimentos de ríos y en el hielo de glaciares. Su grupo tomó muestras a lo largo de la región del Himalaya y el Tíbet. Encontraron que en las décadas posteriores a la Segunda Guerra Mundial ocurrió una mayor acumulación de mercurio en las laderas al sur del Himalaya, que en las laderas al norte. Parte del trabajo incluyó una reconstrucción cronológica de la deposición atmosférica del

mercurio. Ellos concluyeron que la deposición de mercurio elemental fue baja entre los años de 1500 y 1800. Una vez iniciada la Revolución Industrial, continuó aumentando, hasta identificar un aumento “dramático” después de la Segunda Guerra Mundial. Con esto lograron demostrar, entre otras cosas, que las actividades antropogénicas han aumentado el ciclo global del mercurio de 2 a 3 veces con respecto a las tasas naturales.

Fleming *et al* (2000) realizaron un estudio acerca de las tendencias históricas de la contaminación por mercurio. Su estudio abarcó diferentes cadenas alimentarias marinas. Este estudio ayudó a comprender que las fuentes puntuales de mercurio y el mercurio fluvial son de importancia más baja que los aportes de la deposición atmosférica. El estudio sugiere que la causa principal de la contaminación por mercurio en aguas europeas se origina en emisiones en América del Norte, confirmando la preocupación por la dispersión global de este metal.

A nivel mundial se ha encontrado que los mayores contribuyentes históricos a las concentraciones globales de mercurio marino de origen antropogénico son: América del Norte (26%), Asia (16%), Europa (14%) y América del Sur (14%) (Chen *et al*, 2018). En el océano Ártico, históricamente las emisiones antropogénicas de América del Norte son las que más contribuyen al reservorio marino. Las proyecciones futuras revelan que los impactos heredados de las emisiones desde latitudes medias van a crear un aumento en el mercurio del Océano Ártico en las próximas décadas (Chen *et al*, 2018). Este mismo estudio es el primero que contempla las emisiones históricas de cada uno de los continentes. En consecuencia, los impactos del legado histórico de las emisiones antropogénicas en el ciclo de mercurio han sido confirmados como una influencia significativa, el ciclo del mercurio se ve afectado por las emisiones de manera que está afectando el equilibrio del mismo y significando un potencial daño a la salud humana y ambiental. Chen *et al* (2018) comprobaron que los resultados indicados acerca de la relación fuente-receptor en un estudio con datos del presente, eran diferentes a los resultados con el estudio de datos históricos y actuales.

Yang (2010) proporcionó un registro histórico del desarrollo industrial local que demostró las tendencias temporales de la contaminación por mercurio en el Reino Unido. Sus análisis demostraron que el río Diss Mere había sido contaminado en los pasados miles de años. Los sedimentos contenían concentraciones de mercurio mayores a 50 µg/g, a pesar de que la industria a la cual se le atribuía esta contaminación lleva abandonada cien años.

Otro análisis histórico de contaminación por mercurio en el río Huron en la bahía de Georgia, Estados Unidos, utilizó datos recolectados desde 1969. Con esto y con ayuda de un programa de Sistemas de Información Geográfica se logró construir información estadística acerca de las concentraciones y lugares de muestreo donde se esperaba encontrar mercurio (Forsythe & Marvin, 2009).

Otro estudio realizado en Canadá, acerca de los cambios históricos en la concentración de mercurio, utilizó el muestreo en especímenes de peces preservados en museos. Uno de los hallazgos fue, que a pesar de que los efectos de la preservación de los especímenes eran considerables (principalmente en el cambio del peso del tejido debido a la deshidratación por el alcohol), no se encontraron evidencias de pérdidas de mercurio. Esto demostró la persistencia cronológica del mercurio (Kelly *et al*, 1975). Newman *et al* (2004) realizaron muestreos de metilmercurio y mercurio elemental en los cabellos de panteras preservadas en museos en Florida. Encontraron importantes tendencias históricas, principalmente que muchas panteras habían estado en riesgo por exposición a mercurio, especialmente especímenes que vivieron a inicios de los años noventa.

Santa María (2017) describe una epidemia por intoxicación con mercurio en Huamanga, Perú, en el siglo XVI. La enfermedad denominada *Taki Ongoy* (“enfermedad del canto” en idioma quechua) fue descrita por varios cronistas como una intoxicación por alcohol, cocaína o hasta histeria colectiva causada por una gripe en 1538. Sin embargo, en escritos que datan de años de 1564 del autor Luis de Olivera, Santa María (2017) redacta:

“Olivera describió que el cinabrio ya no seguía el ciclo biológico del mercurio en la biosfera, sino que por la vía respiratoria */...se metían en los cuerpos de los indios y los hacían hablar e de allí tomaron a temblar diciendo que tenían las guacas en el cuerpo.../*, refiriéndose a la ataxia ("enfermedad del baile"), disartria ("enfermedad del canto") y muerte por exposición a los vapores mercuriales resultantes de la metalurgia del mercurio impulsada por los españoles desde 1560 en Paras y 1564 en Huancavelica.”

Con ello se descubrió un lugar potencialmente contaminado con mercurio, que había sido descartado por otros investigadores. Es importante hacer notar la semejanza entre lo descrito en 1564 y los síntomas de la enfermedad de Minamata (Yacuzzi, 2008).

Otro estudio de García *et al* (2003), pretendía sensibilizar a organismos políticos y administrativos de la pediatría y otros agentes sanitarios de España, acerca de los efectos nocivos de la exposición al mercurio para la salud humana. Para esto se realizó una revisión bibliográfica que abarcó un período de 25 años previos al estudio. La investigación tomó como base los registros de los efectos dañinos de la contaminación ambiental por mercurio en niños (García *et al*, 2003). Uno de los resultados fue que los establecimientos de salud son un “foco importante” de contaminación medio ambiental por mercurio. También concluyeron que existe una “pasividad inaceptable” entre los médicos acerca de la problemática asociada a la exposición social al mercurio. Además, de que es necesaria una cuantificación real de la ingesta de los niños, así como una valoración nutricional para discutir políticas públicas integrales para la eliminación del mercurio en la sociedad.

A lo largo de la historia se han realizado estudios que han encontrado distintos usos que le ha dado la humanidad a este metal tan particular, mucho antes de conocer los efectos adversos que este pudiera causar a la salud. Clarkson & Magos (2006) describen que después de 1685 (cuando se revocó el Tratado de Nantes) muchos “hugonotes” (provenientes de Francia) migraron a Inglaterra y comenzaron a compartir la técnica para la fabricación de sombreros de fieltro de alta calidad. Esta técnica consistía en el uso de nitrato de mercurio para la preparación del fieltro, lo que les daba esa propiedad de rigidez, pero sin perder la calidad. Los fabricantes de sombreros de copas y sus usuarios sufrieron las consecuencias del envenenamiento por mercurio. Se sospecha que de ahí provino el término de “sombbrero loco”. El escritor Lewis Carroll con su personaje de *El sombrero Loco*, describe a un hombre que pudo haber sido víctima de las intoxicaciones por mercurio (Clarkson & Magos, 2006).

Wilson *et al* (2010) actualizaron el inventario de emisiones de fuentes y transporte de mercurio a nivel mundial (un proyecto coordinado por el Programa de Monitoreo y Evaluación del Ártico, AMAP por sus siglas en inglés: *Arctic Monitoring and Assessment Programme*). Este proyecto tiene inventarios de emisiones desde 1990. Entre sus objetivos está abordar políticas de mitigación y promover esfuerzos internacionales con una base de

datos confiable. Pirrone *et al* (2010) realizaron una actualización de las emisiones globales del mercurio, tanto de fuentes naturales como antropogénicas. Su trabajo incluyó nuevas fuentes de emisión que no se tomaban en cuenta antes de 2010. Actualizaron otras fuentes de emisión, y mejoraron las estimaciones en regiones con altos índices de combustión de carbón. Hasta la fecha, no se tiene conocimiento de un trabajo semejante acerca de la cantidad de mercurio usada en la minería artesanal. Esto resultaría de enorme interés, pues la minería artesanal se considera la fuente antropogénica mundial más grande de mercurio. En esta actividad existe un enorme vacío histórico, a pesar de la antigüedad de la extracción aurífera por mercuración.

## 2.2. CONTEXTO HISTORICO AMBIENTAL DEL CONVENIO DE MINAMATA

Una de las catástrofes más grandes ocasionada por la contaminación ambiental con mercurio ocurrió a finales de la década de 1950 en la bahía de Minamata, Japón. La principal actividad económica en Minamata era la pesca. Sin embargo, también había industrias químicas dedicadas a la producción de fertilizantes, carburo y cloruro de vinilo, entre otros. Se estima que entre 1932 y 1968 se vertieron en la bahía aproximadamente 27 toneladas de compuestos de mercurio utilizados en la producción, junto con otros contaminantes (Yacuzzi, 2008). En 1955 se dio una epidemia de casos descrita en los siguientes términos (Yacuzzi, 2008):

*“... la gente de Minamata empezó a notar síntomas extraños en el entorno: gatos que bailaban, pájaros en vuelo que súbitamente caían a la tierra y, peor aún, comportamientos anómalos en los seres humanos, como discursos sin sentido, movimientos involuntarios, desmayos y hasta ceguera. El pánico se generalizó en Minamata, al no poder identificarse inicialmente el origen del mal” (Yacuzzi, 2008).*

Los hospitales informaban de una “extraña enfermedad del sistema nervioso central”. El hospital municipal llegó a tener que construir pasillos especiales para la instalación de nuevos pacientes. En 1959 se demostró que los síntomas que presentaba la población eran causados por envenenamiento con metilmercurio. Este compuesto provenía de un efluente

de una planta productora de acetaldehído. El metilmercurio descargado en la bahía se incorporó a la cadena alimentaria, contaminando a diferentes especies. De acuerdo con Harada (1978), la ingesta de mariscos capturados en la bahía fue una de las principales causas de intoxicación. Sin embargo, hubo muchos obstáculos para que la investigación se realizara oportunamente, provocando una suma considerable de víctimas (Yacuzzi, 2008). Actualmente se reconoce que hubo más de 3 000 víctimas, y tuvieron que esperar más de 30 años para recibir una indemnización por parte de los responsables de la descarga contaminante (Yacuzzi, 2008). A la enfermedad neurológica por intoxicación con mercurio y metilmercurio se le conoce actualmente como enfermedad de Minamata.

Haciendo un esfuerzo por recordar las vidas perdidas por este desastre y un compromiso para que no vuelva a ocurrir una tragedia similar, se promulgó el Convenio de Minamata sobre Mercurio aproximadamente 60 años después de los eventos toxicológicos en la Bahía. El nombre del convenio busca asociar el evento histórico con los problemas ocasionados por la intoxicación aguda y crónica con mercurio y otros compuestos de mercurio, y también asociarlo con potenciales soluciones para prevenir eventos similares (ONU, 2019). Para la realización de este Convenio se requirió del análisis retrospectivo de eventos ocurridos en el pasado.

En 2001, el Consejo de Administración del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), solicitó una evaluación de la presencia y uso de mercurio y sus compuestos a nivel mundial. Los resultados fueron presentados en 2003 en la sesión del Consejo de Administración del PNUMA: Evaluación Mundial del Mercurio. En ella se presentaron las conclusiones de los efectos adversos del mercurio y sus compuestos para la salud, y se planteó la necesidad de adoptar medidas internacionales. Diez años después, en octubre del año 2013, se firmó oficialmente el Convenio de Minamata sobre Mercurio, en Kumamoto, Japón. El Convenio entró en vigor el 16 de agosto del 2017. La Primera Conferencia de las Partes fue celebrada en setiembre de 2017 en Ginebra, Suiza (ONU, 2019).

### **2.2.1. Breve descripción del Convenio de Minamata sobre mercurio**

En esta sección se describen los artículos que se consideran fundamentales para asociar el objetivo del Convenio con el fundamento de este trabajo. El Convenio de Minamata

busca impulsar acciones para minimizar las emisiones y liberaciones antropogénicas de mercurio y sus compuestos, así como eliminar muchos de sus usos. Su objetivo principal es la protección de la salud humana y del medio ambiente (ONU, 2019). Para lograr este objetivo, el Convenio establece varias medidas de acatamiento obligatorio para las partes.

Una de las principales es el control del suministro y comercio de mercurio, para limitar las fuentes de procedencia como la extracción primaria. Esto incluye los artículos 3 (fuentes de suministro y comercio de mercurio), 4 (productos con mercurio añadido), y 7 (extracción artesanal de oro) (ONU, 2019). Otras medidas relacionadas con el control de los procesos de producción que tengan mercurio en sus operaciones aparecen en el artículo 5, procesos de fabricación que utilizan mercurio o sus compuestos. También se plantean acciones para la cuantificación de emisiones y liberaciones de mercurio (artículos 8 y 9) (ONU, 2019). En el cuadro 1 se presenta un resumen de estos artículos junto con los restantes artículos que se describen en los siguientes párrafos.

Cuadro 1. Resumen de los artículos del Convenio de Minamata relacionados con el objetivo de este trabajo. (ONU, 2019)

<b>Artículo</b>	<b>Título</b>	<b>Antecedente</b>
3	Fuentes de suministros y comercio de mercurio	-Asociación Mundial sobre el Mercurio del PNUMA
4	Productos con mercurio añadido	-Asociación Mundial sobre el Mercurio del PNUMA
5	Procesos de fabricación en los que se utiliza el mercurio o compuestos con mercurio	-Asociación Mundial sobre el Mercurio del PNUMA
7	Extracción de oro artesanal y pequeña escala	-
8	Emisiones	-Asociación Mundial sobre el Mercurio del PNUMA
9	Liberaciones	

		-Asociación Mundial sobre el Mercurio del PNUMA
12	Sitios contaminados	-Asociación Mundial sobre el Mercurio del PNUMA
14	Creación de capacidad, asistencia técnica y transferencia de tecnología	-Convenio de Estocolmo -Convenio de Basilea
17	Intercambio de información	-Convenio de Estocolmo
18	Información, sensibilización y formación del público	-
19	Investigación, desarrollo y vigilancia	-Asociación Mundial sobre el Mercurio del PNUMA -Convenio de Basilea
22	Evaluación de eficiencia	-

Otras obligaciones para las Partes son: artículo 12, elaboración de estrategias para la identificación de los sitios contaminados con mercurio, tendientes a tomar medidas para reducir los riesgos asociados estos sitios. Artículo 14, instar a las Partes a la creación de capacidades, mecanismos de asistencia técnica y de transferencia de tecnología. Artículo 17, facilitar el intercambio de información acerca del progreso en la implementación del Convenio. Artículo 18, promoción de la información y sensibilización al público, y artículo 19, esfuerzos por cooperar con la investigación, el desarrollo y la vigilancia por medio de elaboración de modelos geográficos representativos de la ubicación del mercurio y sus compuestos, así como sus niveles de detección.

En el Convenio también se incluye la evaluación de la efectividad de su implementación (artículo 22). Evers *et al* (2016) describen distintas maneras para medir la

eficiencia del Convenio de Minamata, y las complementan con varias recomendaciones. Por ejemplo, indicadores a corto-largo-medio plazo, tales como el número de usos que tiene el mercurio en los distintos países en un periodo específico; bioindicadores, tales como la concentración en pescado y mariscos; y la concentración ambiental de mercurio atmosférico, así como en el suelo y el agua en períodos definidos. Entre las estimaciones de la efectividad en las medidas del Convenio, los autores indican un conjunto de relaciones críticas agrupada en los siguientes niveles: 1) el peligro asociado a la fuente de emisión y a la deposición en diferentes matrices; 2) el receptor de la emisión sea biótico o abiótico; y 3) la exposición, asociada a la vulnerabilidad del ecosistema. A pesar de la aceptación de este abordaje, la estimación de la efectividad del Convenio ha sido propuesta por los autores sobre la base de una estimación inicial que no toma en cuenta la acumulación histórica del mercurio ni sus efectos a largo plazo.

La implementación del Convenio de Minamata ha tenido un gran auge internacional. El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente creó la Asociación Global de Mercurio (GMP, por sus siglas en inglés: Global Mercury Partnership) con el propósito de ayudar a la creación de políticas acerca de las emisiones y liberaciones, así como posibles medidas para reducir la entrada del mercurio al medio ambiente (Bank *et al*, 2014). Esta Asociación se ha encargado de generar reportes técnicos anuales sobre las emisiones globales anuales de mercurio, que se han estimado a más de 2 000 toneladas métricas. Los reportes recopilan información actualizada acerca de las principales fuentes de emisiones: la combustión de combustibles fósiles, la minería de oro por amalgamación, la producción de cemento, industrias de metalurgia, manejo de residuos, y la cremación (Bank *et al*, 2014). También se menciona que, para minimizar la incertidumbre en las determinaciones, mejorar la base matemática y la reproducibilidad de los datos a nivel global, es primordial contar con modelos del tipo fuente-receptor. Lo anterior debido a que el mercurio se dispersa a lo largo de grandes distancias. Entre los datos considerados, también se toman en cuenta los resultados de estudios en material de museos que han enseñado la biodisponibilidad del mercurio, y la identificación de especies, hábitats y regiones con mayor probabilidad de riesgo por contaminación por el mercurio (Bank *et al*, 2014).

La coordinación para la implementación del Convenio a nivel mundial ha estado orientada sobre la base de la información descrita arriba, con algunos esfuerzos específicos.

Ancora *et al* (2015) realizaron una investigación sobre la aplicación del Convenio en China como mayor consumidor de carbón para la generación eléctrica. Se identificó la necesidad de adoptar políticas para el uso de tecnologías limpias, o alternativas menos contaminantes, en la industria China para que el país implemente el Convenio conforme a lo establecido por las Partes. Por ejemplo, se han propuesto opciones tan específicas como el lavado del carbón previo a la combustión. También se evaluaron los costos para cumplir con el Convenio y mantener emisiones inferiores a 3 mg Hg/m<sup>3</sup> de aire en 2023, contemplados en billones de dólares.

Otros países aplicaron el Convenio en sus respectivas constituciones y establecieron algunas obligaciones operativas, tales como: la cuantificación de mercurio y productos que contienen mercurio, la reducción de residuos que contienen mercurio, y la identificación de zonas de alto riesgo. Por ejemplo, en Colombia se tomaron medidas tales como el cierre de plantas. De acuerdo con el Departamento Nacional de Planeación de la Republica de Colombia, desde 1970 existía una empresa para la explotación mineral que utilizaba mercurio en sus procesos. Esto provocó emisiones de mercurio en distintas zonas del país que no fueron cuantificadas. Al firmar el Convenio, Colombia se encargó de cerrar varias plantas, así como imponer leyes para el cambio tecnológico excluyendo el mercurio del proceso (Higuera, 2017). Otro caso es Chile. Ese país cuenta con instituciones y distintas políticas para el cumplimiento del Convenio. Por ejemplo, el Proyecto de Hospitales libres de Mercurio, y la Ley de la Responsabilidad Extendida del Productor, entre otras (Aguayo, 2019). No obstante, no es de conocimiento dentro de los alcances de este trabajo, que ni Colombia ni Chile hayan adoptado estas medidas a partir de consideraciones derivadas del análisis histórico.

### **2.2.2. El Convenio de Minamata y su implementación en Costa Rica**

Costa Rica adoptó el Convenio de Minamata sobre Mercurio en 2013. El 16 de setiembre de 2016 se publicó en el Diario Oficial La Gaceta la Ley 9391: Convenio de Minamata sobre Mercurio. Al suscribir el Convenio el país asumió el compromiso de reducir, eliminar y gestionar el mercurio y productos que contienen mercurio, incluidos sus residuos, con el fin de mitigar los efectos ambientales y sanitarios de este contaminante (Fernández *et al*, 2017).

En Costa Rica se cuenta con información limitada acerca de la presencia de mercurio, a pesar de los esfuerzos realizados por las autoridades nacionales. Entre los aspectos más importantes que podrían complementar estos esfuerzos, se encuentra el análisis histórico de información que evidencie el uso de mercurio en el país en diferentes épocas. Por ejemplo, se encuentran registrados dos ciclos mineros importantes entre los siglos XIX y XX. En ambos períodos el Estado costarricense concesionó la explotación minera en favor de empresas privadas. De estos dos ciclos existe información acerca de la cantidad de oro extraído por mercuración (Araya, 1976). Sin embargo, se desconocen el origen, medidas para el trasiego, condiciones de uso y disposición final del mercurio, o bien el reporte de intoxicaciones.

Fernández, Herrera y Sibaja (2017), publicaron en 2014 el primer perfil nacional de usos de mercurio en Costa Rica utilizando la herramienta del PNUMA. Su estudio identificó las fuentes antropogénicas existentes y evaluó la capacidad del país para gestionar el mercurio. El trabajo abarcó los años 2013 a 2016. La elaboración del perfil requirió visitas de campo e investigación bibliográfica. Con los resultados obtenidos lograron confirmar diferentes grupos de riesgo. Entre estas poblaciones se encuentra la de los mineros artesanales. La minería artesanal representa el mayor riesgo por el constante contacto con el mercurio y su manipulación insegura. Sin embargo, el impacto desde el primer ciclo minero en Costa Rica aún no ha sido evaluado.

Otra actividad en la que se manipula mercurio, aunque de mucho menor riesgo, es la prestación de servicios de salud. Entre la población identificada en este sector hay personal especializado en hospitales y clínicas odontológicas. En esta población se identificó una debilidad en la capacitación sobre los riesgos y problemáticas relacionadas con el mercurio y el manejo de sus residuos. Otra de las conclusiones del estudio fue la existencia de un vacío en la gestión de residuos de mercurio, especialmente en la disponibilidad de espacios para el almacenamiento temporal en condiciones seguras. A partir de dicha conclusión, los autores recomendaron la implementación de planes nacionales para la regulación de la gestión del mercurio (Fernández *et al*, 2017).

En otro estudio, Calleja y Ramírez (2014) presentaron datos sobre la concentración de mercurio en muestras nacionales de pescado. Las concentraciones variaron entre 0,85 y 1,3 mg de Hg/kg de pescado. El 64% de las muestras superaron el límite toxicológico

aceptado por la OMS (Organización Mundial de la Salud) para la ingesta semanal. Este trabajo ofreció evidencia de que Costa Rica no está exenta del “fenómeno mundial de acumulación de mercurio en los mares”. Chacón *et al* (2016) registraron las concentraciones totales de mercurio en muestras de pescado y mariscos decomisadas en el período 2003-2013. Utilizaron esos registros para discutir la necesidad de formular recomendaciones acerca del consumo de productos pesqueros a la población nacional. En su estudio, Chacón *et al* (2016) determinaron que el 85% de las muestras de especies depredadoras (tales como el tiburón) no superaron el valor límite de 1 mg de Hg/kg de músculo. El 93% de otros productos pesqueros tenían niveles de mercurio menores a 0,5 mg de Hg/kg de músculo. Concluyeron acerca de la necesidad de emitir recomendaciones acerca del tamaño de las porciones para niños y mujeres embarazadas, pues son poblaciones de riesgo. Resulta importante señalar que el 100% de las muestras estudiadas contenían mercurio.

De acuerdo con Calleja y Ramírez (2014), uno de los primeros estudios relacionados con la determinación de mercurio en el país fue publicado por Barquero (1997). El estudio consistió en el desarrollo de un método analítico para medir mercurio total en el pescado a nivel de microgramo por kilogramo. Más adelante, en el año 2002 Guzmán y García (2002) muestrearon 1 497 km de arrecife de coral en la costa caribeña de Costa Rica y Panamá. Estos autores encontraron concentraciones tan altas como 85,9 ppb en sedimentos marinos en la porción de la zona en estudio perteneciente a Costa Rica. Los autores sugieren que, gracias a la distribución observada, el mercurio que procede de distintas fuentes fue arrastrado largas distancias provocando estos altos niveles (Guzmán y García, 2002).

Otros estudios realizados en el país han tomado en cuenta la percepción de grupos de riesgo. Por ejemplo, Fernández (2017) realizó un estudio acerca de la exposición de mercurio en mineros artesanales. Al observar las condiciones naturales en las que se realiza la actividad, concluyó que las personas con más experiencia y tiempo de exposición tienden a menospreciar el riesgo para su salud. En consecuencia, instruyen a los más jóvenes con prácticas empíricas descuidadas, sin tener conocimiento acerca de los riesgos del mercurio.

En el 2017, la Dirección de Gestión de Calidad Ambiental (DIGECA) del Ministerio de Ambiente, realizó una evaluación inicial para la implementación del Convenio (DIGECA, 2017). La evaluación incluyó una guía para elaborar el análisis preliminar de las condiciones del país, con énfasis en factores técnicos, normativos y económicos. También incluyó la

herramienta para elaborar el inventario nacional, y algunos resultados de análisis de mercurio atmosférico en algunos puntos del territorio nacional. En su descripción, DIGECA describe un estado limitado de la situación actual en Costa Rica, especialmente en la disponibilidad de información cuantitativa útil en la toma de decisiones y en la formulación de política pública. El esfuerzo de DIGECA por recopilar información autóctona es una necesidad para la implementación y conducción del Convenio. Por ejemplo, información acerca de sitios con concentraciones potencialmente significativas de mercurio atmosférico, o liberaciones al aire o al suelo.

En el artículo 9, inciso 1 del Convenio, se indica que cada parte elaborará estrategias para identificar fuentes potencialmente significativas de liberaciones de mercurio. El término “liberaciones” se refiere a la incorporación de mercurio en alguna de sus formas al agua o al suelo específicamente (ONU, 2017). En Costa Rica muchos de estos sitios no han sido identificados, aunque como se mostrará en este trabajo, tienen antecedentes históricos que podrían orientar su identificación. Entre la información encontrada, hay registros de concesiones para la extracción de azogue (Archivo Nacional, 1824a) así como de los posibles usos dados al mercurio en alguna de sus formas. Actualmente existe un grupo Técnico de Liberaciones de mercurio al agua y suelo, que depende de la Secretaría del Convenio de Minamata. Este grupo tiene un representante de Costa Rica. Su trabajo consiste en establecer los lineamientos para identificar cuáles son las fuentes más significativas de liberaciones al agua y al suelo para su incorporación en el artículo 9 del Convenio.

La implementación del Convenio también tiene una dimensión prospectiva para el país. El control ambiental del mercurio es uno de los aspectos considerados por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), de la cual Costa Rica es miembro. Existe un sector económico cuya productividad es sostenible en el tanto existan controles que mitiguen el impacto potencial del mercurio sobre la salud humana y el medio ambiente. Por ejemplo, la minería artesanal que se practica en Costa Rica aún no ha sido evaluada en términos de su impacto por emisiones y liberaciones de mercurio. En el siguiente capítulo se describe cómo se podrían realizar algunas estimaciones que contribuyan a identificar estos impactos potenciales.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. REVISIÓN DE FUENTES DOCUMENTALES**

Se realizó una búsqueda digital con el motor de búsqueda del Sistema Nacional de Archivos. Esta entidad se encarga de administrar el patrimonio documental del país. Se utilizaron las palabras claves: “mercurio”, “azogue” y “amalgama”.

Luego, los documentos históricos encontrados se dividieron en tres categorías de acuerdo con el tema en el que se encontraba referida la palabra clave. Las categorías son: 1) concesiones para la extracción de mercurio y minería metálica, 2) acuerdos tomados por entes estatales en actividades productivas asociadas al uso del mercurio y 3) compras de materiales con mercurio. Después de separar las categorías, los documentos se organizaron cronológicamente.

Se buscó información acerca de los períodos documentados como “ciclos mineros”. Se separó la información del primero y segundo ciclo minero, y se utilizó para realizar la reconstrucción histórica acerca de las liberaciones de mercurio, junto con otros registros acerca de productos que contienen mercurio.

Se contactó al personal técnico del Ministerio de Hacienda, de su servicio de Aduanas, para saber sobre los datos de importaciones más antiguas de mercurio. Sin embargo, se obtuvo una negativa sobre la existencia de esta información por parte del contacto con la institución, remarcando que hasta 1990 se comenzó a digitalizar la información del servicio y antes de esta fecha es muy complicado saber dónde está la información anterior.

#### **3.2. ENTREVISTAS A EXPERTOS**

Se realizaron entrevistas de respuesta abierta, semi estructurada a expertos. Se entrevistó a profesores y expertos en geografía a nivel nacional sobre su conocimiento de yacimientos minerales de mercurio y sus usos. Las entrevistas fueron realizadas por medio de video llamada.

### 3.3. RECONSTRUCCIÓN HISTÓRICA DE LIBERACIONES DE MERCURIO

#### 3.3.1. Reconstrucción de los ciclos mineros

De la información documental de los dos ciclos mineros realizados en el país, se extrajo la información cuantitativa para estimar las liberaciones de mercurio. La metodología de cálculo requirió determinar cuánto mercurio se reporta como necesario para extraer oro y plata por amalgamación, este dato fue obtenido del escrito histórico de la minería latinoamericana del autor Nriagu (1994). A partir de este valor, se proponen las ecuaciones 1 y 2 para cada ciclo minero, respectivamente:

Para el primer ciclo minero se utilizó la fórmula:

**Mercurio liberado (kg)**

$$= \left[ \frac{\text{Oro (pesos)}}{16 (\text{pesos/onza})} + \frac{\text{Plata (pesos)}}{7(\text{pesos/onza})} \right] * 0,031103(\text{kg/onza}) * 1,7(\text{kg Hg/kgMetal})$$

[1]

Para el segundo ciclo minero se utilizó la fórmula:

$$\text{Mercurio liberado (kg)} = \frac{\text{Oro (pesos)}}{16 (\text{pesos/onza})} * 0,031103(\text{kg/onza}) * 1,7(\text{kg Hg/kgMetal})$$

[2]

**Oro (pesos):** oro documentado en datos históricos nacionales en pesos en los ciclos mineros

**Plata (pesos):** plata documentada en datos históricos nacionales en pesos en el primer ciclo minero

**16 (pesos/onza):** equivalente de la onza de oro publicada al momento de la declaración de Costa Rica como una República Independiente (Vargas, 2008)

**0,031103 (kg/onza):** valor de la onza de oro y plata en kg

**1,7 (kg Hg/kg Metal):** kg de mercurio que se libera por cada kg de metal obtenido por la minería (Nriagu, 1994)

Se implementa una fórmula para el primer ciclo minero y otra para el segundo ciclo, ya que, aunque las unidades son las mismas en ambos ciclos, cada una de esas cantidades de oro y plata se obtuvieron en distintos momentos y con distintos fines (el primer ciclo minero fue para la acuñación de la moneda nacional y el segundo fue principalmente exportación). Sin embargo, para ambos ciclos se utilizó el dato brindado por Nriagu (1994) sobre cuánto mercurio se pierde por kg de oro y plata. El dato de conversión escogido fue el de 1,7 kg Hg/kg Au y Ag, porque el autor explica en su investigación que es el dato que se puede usar en América Central y del Sur, tanto para la época colonial como para la minería más contemporánea. Este dato se obtuvo tomando en cuenta las distintas técnicas y equipo, además de los cambios que pudieron existir en el distinto avance del tiempo (Nriagu, 1994).

Al obtener los datos del primer ciclo minero se utilizaron solamente las cantidades de oro que se utilizaron para el cuño de monedas nacionales, ya que, los datos obtenidos de los documentos históricos británicos no funcionan para poder establecer un inventario sobre la minería realizada por el país en esta época. Ya que al no existir evidencia a nivel nacional que esto ocurrió no se puede saber a cuál precio ocurrió la compra de las onzas de oro. Sin embargo, el dato es muy útil para verificar que la minería influyó fuertemente en la economía nacional del momento, esta suma fue alrededor de la mitad del dinero generado en exportaciones por parte del país esos años (Araya Pochet, 1976).

### **3.3.2. Reconstrucción de la iluminación pública**

En una última etapa metodológica, se plantean cuatro escenarios diferentes para estimar las cantidades de mercurio provenientes del alumbrado público y del uso de tubos fluorescentes en los cantones de la provincia de San José.

- **Primer escenario:** es el cálculo del mercurio estimado a partir de las cantidades de luminarias públicas encontradas en los documentos de distintas municipalidades.
- **Segundo escenario:** es una extrapolación bianual de la cantidad de mercurio en este tiempo, considerando el mismo número de lámparas para todas las municipalidades de la provincia de San José, dado que la tecnología era la misma para toda la zona.
- **Tercer escenario:** es una estimación de mercurio a lo largo de una década, entre 1 965 y 1 975 para todos los cantones de la provincia de San José.

- **Cuarto escenario:** es una estimación de mercurio para todos los cantones de la provincia de San José desde 1965 hasta 1992, año en que disminuyó drásticamente el contenido de mercurio en la manufactura de lámparas de alumbrado público (EPA, 1997) debido al cambio tecnológico que ocurrió a nivel mundial en estos accesorios. Se debe tomar en cuenta que las cantidades de mercurio obtenidas en cada escenario están contemplando la del escenario anterior.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan los hallazgos del uso de mercurio en Costa Rica desde la colonia hasta la década de 1970 aproximadamente. Se incluyen registros de extracción de oro por amalgamación, exploración de minas de azogue y transición tecnológica asociada a la electrificación urbana y al alumbrado público.

### 4.1. REVISIÓN DE FUENTES DOCUMENTALES DE LA PRESENCIA Y USOS DEL MERCURIO EN COSTA RICA

#### 4.1.1. Hallazgos acerca de la presencia de mercurio en suelo costarricense para su explotación.

En el cuadro 2 se muestran los hallazgos acerca de las denuncias de propiedades registradas documentalmente en el Archivo Nacional entre 1876 y 1908 para la explotación de mercurio como azogue.

Cuadro 2. Denuncias de terrenos para la minería de mercurio (minería de azogue) en el período comprendido entre 1876 y 1908, registradas en el Archivo Nacional de Costa Rica.

---

<b>Año de la Denuncia</b>	<b>Lugar de la Denuncia</b>	<b>Número de denuncias por terreno</b>
1 876	Santa Rosa de Candelaria, Guanacaste	1
1 899	Volcán Irazú, distrito cuarto, cantón segundo de Cartago.	1
1 899	Tierra Morena, San Isidro de San José	1
1 900	Distrito tercero, cantón primero de Cartago	15
1 901	La Carpintera de Cartago	3
1 901	Corralillo de Cartago	3
1 902	Tierra Blanca de Cartago	2
1 903	Abejonal, Tarrazú de San José	5

1 903	Conventillos del Tejar en Cartago	3
1 903	La Laguna de Ochomogo, cantón primero, distrito quinto de Cartago.	4
1 903	Las Caídas a orillas del río Reventado, distrito tercero, cantón primero de Cartago.	8
1 904	Oricuajo, San Mateo, Alajuela	1
1 907	quebrada del Salitral de Santiago, Puriscal, San José	2
1 907	Santiago, Puriscal, San José	2
1 908	Rosario de Desamparados, San José	3
1 908	San Juan de Tobosí y Corralillo de Cartago y el Rosario de Desamparados, San José	2
1 908	Oricuayo. San Mateo-Alajuela.	1
<b>Total de Denuncias</b>		<b>57</b>

Fuente: Archivo Nacional de la República de Costa Rica

Los datos del cuadro 2 muestran evidencia que luego de la época colonial se realizaron esfuerzos para practicar la minería de azogue (mercurio). En los archivos se especifica que el objeto de las denuncias es su extracción. Es importante notar que el período corresponde con los inicios del segundo ciclo minero en Costa Rica (de 1890 – 1930) (apartado 5.1.2.2). En vista de la incipiente minería de oro por amalgamación, el interés por contar con mercurio a un bajo costo se ve reflejado en la cantidad de denuncias. En el cuadro 2 se observa que los terrenos con más denuncias poseen 15 y 8 reclamos, respectivamente, ambos en la provincia de Cartago.

Las denuncias listadas en el cuadro 2 en su mayoría, se encuentran agrupadas en San José, Cartago, y Alajuela, núcleos en donde se dio la minería de oro en sus inicios (apartado 5.1.2.1). La siguiente figura muestra la distribución geográfica de las denuncias.

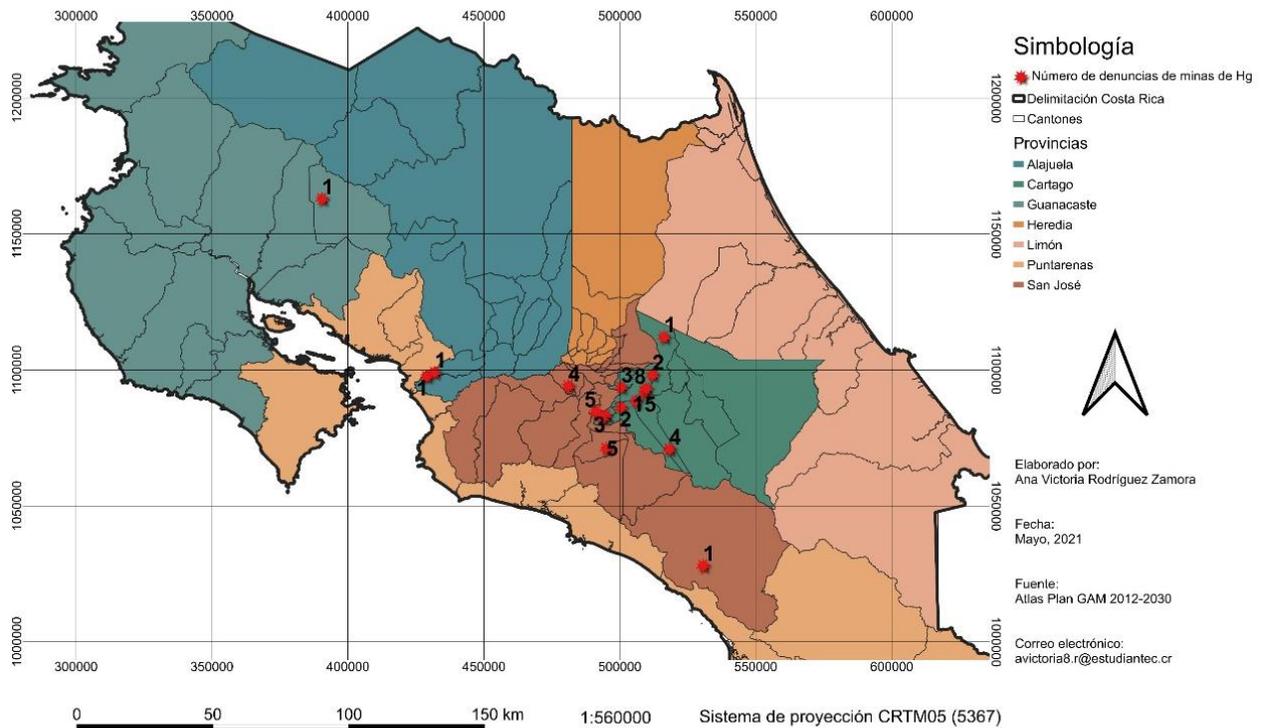


Figura 1. Ubicación y cantidad de denuncias de minas de azogue en Costa Rica, entre los años 1876 - 1908.

Los números en color rojo sobre el mapa corresponden a la cantidad de denuncias registradas en ese punto. Como se puede observar, la provincia en la que se acumulan más denuncias es Cartago. La que tiene menos denuncias es Guanacaste. Es importante notar que pocas de estas zonas han sido sitios donde ha existido tradicionalmente actividad minera en Costa Rica, y sobreviven hasta la actualidad.

Durante la colonia (1575-1824), Costa Rica se caracterizó por la ausencia de explotación minera. Documentos enviados al reino de España mencionan la pobreza del país con respecto a minerales o la falta de minas de oro y plata (Kussmaul, 2007). Existe evidencia en el Archivo Nacional de Costa Rica acerca de una resolución hecha en Madrid dirigida al Gobernador y Capitán General de Costa Rica, en la que indica que envían un barco de azogue (Archivo Nacional, 1703). Sin embargo, luego de esto no se encontraron más archivos referentes al tema de minería o mercurio en el país, sino hasta 1811. Fue en ese año cuando se consignó un documento fechado 29 de marzo, en el que el Cabildo del país conoció una Real Cédula sobre la absoluta libertad de derechos sobre las minas de azogues (Archivo

Nacional, 1811). Sin embargo, en las actas de esa reunión no se menciona nada más al respecto.

Kussmaul (2007) analizó un artículo llamado “Mineral Resources of Costa Rica”, publicado en 1914. Ese documento describe la minería de distintos elementos en el país, tales como: oro, plata, cobre, tungsteno, magnesio, níquel, hierro, mercurio, carbón, caolín de primera calidad, alúmina y ocres. Sin embargo, en las conclusiones acerca de dicho artículo, Kussmaul concluye que más que una “publicación científica, el artículo es una promoción de la minería de Costa Rica”, ya que varios de los minerales mencionados, entre ellos el mercurio, no tienen ninguna mineralización y la calidad de las arcillas es “bastante mala”.

En los documentos encontrados en el Archivo Nacional sobre las denuncias de minería de azogue se describe que muchas de estas posteriormente fueron cedidas a segundos. Muchas detallan hallazgos de minas de azogue y oro juntas en la misma propiedad. Esta información muestra que el país tuvo una etapa en la que existió interés en practicar la minería de mercurio. No obstante, no se encontró evidencia acerca de la cantidad extraída, ni los períodos de explotación. Además, por los datos que se mencionan acerca de la minería en los artículos analizados por Kussmaul (2007), se puede figurar que estos intentos de explotación de mercurio fueron infructuosos y no actividades permanentes.

#### **4.1.2. Uso del mercurio para la extracción aurífera por amalgamación en Costa Rica.**

La extracción de oro por amalgamación se desarrolló en dos grandes períodos: el primero desde 1821 hasta 1848, y el segundo desde 1890 hasta 1930. Araya Pochet (1976) describe históricamente ambos períodos como los dos “ciclos mineros” de Costa Rica.

##### ***4.1.2.1. Primer ciclo minero (1821 – 1848)***

Este período se caracterizó por la poca experiencia en el área de la minería y la “fiebre del oro” como novedad en el país. En el cuadro 3 se presentan las principales minas de oro que se tenían contempladas alrededor del país en 1892, demostrando el interés y poco control sobre la actividad. En esa época la ausencia de controles se ve reflejada en el desconocimiento del estado y productividad de la mayoría de las minas. La información recopilada al respecto

se muestra en el cuadro 3, en el que en las últimas dos columnas evidencian esa ausencia de información.

Cuadro 3. Denuncias de minas de oro más importantes en 1892.

<b>Nombre</b>	<b>Cantón</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Minerales</b>	<b>Situación de explotación</b>
La Trinidad	Esparta	Cabecera del río Ciruelitas	Oro y plata	Activa
Sacra Familia	Alajuela	Monte del Aguacate	-	-
La Unión	Puntarenas	Márgenes del río Seco	-	-
La Minita	Alajuela	Monte del Aguacate	-	Paralizada
Mina de los Castro	-	Corralillo	-	-
San Rafael	-	-	-	-
Minas de los Oreamuno	-	-	-	-
Quebrada Honda	-	Quebrada Honda	-	-
Muchuca	-	Corralillo	-	-
Trinidad del Aguacate	-	-	-	-
Peña Grande	San Ramon	Cerro de San Ramón	-	Poca actividad
Mina de Acosta	-	Márgenes del río Jesús	-	-
Las Cóncavas	Cartago	Márgenes del río A. Caliente	Cobre	Paralizada
Palmares	San Ramón	Cordillera del Aguacate	Oro, Plata y Plomo	-
Mancuerna	Sardinal	Costa del Sardinal	Cobre	-
Mata Palo	-	-	-	-
Puerta del Palacio	-	-	-	-
Hoja Chigues	-	-	-	-
Chapernal	-	-	-	-

Fuente: Araya Pochet 1976

Solamente para cuatro minas se conocía con certeza el mineral extraíble. Sin embargo, solamente una estaba activa. Las restantes minas aparentemente fueron denunciadas pero su estado no aparece registrado para la época (Araya Pochet, 1976).

La minería de oro en Costa Rica inició en 1821. Llegó a ser el principal recurso de la nueva república (y no la agricultura como muchas veces se cree) (Araya Pochet, 1976). Esta actividad está asociada a una potencial contaminación por mercurio que, hasta donde se sabe, no ha sido estimada. El descubrimiento de oro en Costa Rica ocurrió en el año 1815. Un obispo de Nicaragua que iba por el camino del Monte del Aguacate observó y tomó muestras de ciertos minerales en la ruta. Llevó las muestras hasta la provincia de Cartago y ahí se reveló que contenían oro y plata (Araya, 1976). A partir de ese momento empezó la explotación minera en los Montes del Aguacate. Con ella, Costa Rica pudo incrementar las relaciones comerciales internacionales que existían desde la colonia (Araya Pochet, 1976). En esa época, el Estado promovió fuertemente esta actividad. Como afirma Araya Pochet (1976):

*"La política del Estado Costarricense en materia de minería, fue de tinte marcadamente proteccionista, ya que en dicha actividad se cifraron por dos décadas, las mayores esperanzas para hacer de ella uno de los productos que nos vincularan al mercado externo y que rompieran el poco dinamismo del sector externo de la economía".*

El Estado no se involucró en el proceso de producción ni comercialización. La mayoría de las inversiones y denuncias de fincas se hicieron por partes privadas nacionales e internacionales. Sin embargo, para el Estado "el minero se le consideraba el elemento más importante de la promoción de la riqueza del país"(Araya Pochet, 1976). La comercialización de los productos de la minería dentro del país estimuló los primeros avances de la "monetización de la economía" (Araya Pochet, 1976).

El gobierno de Costa Rica permitió acuñar oro en 1824. Las primeras monedas acuñadas circularon a partir de 1828 (Kussmaul, 2007). En 1848, el Presidente de la República, Dr. José María Castro Madriz, emitió el decreto del abandono de Costa Rica a la Federación Centroamericana, y con esto comenzó la promulgación de decretos para definir

los nuevos símbolos nacionales y entre ellos, la moneda de oro y plata. El oro para acuñar monedas provenía de la minería de los Montes del Aguacate (Vargas, 2008).

La minería de oro alcanzó una actividad máxima entre 1821 y, aproximadamente, hasta la cuarta década del siglo XIX. En ese lapso, Kussmaul (2007) describe que fue donde se alcanzó una gran prosperidad en el país gracias a la exportación de oro, y al comercio con Estados Unidos y Europa. El oro llegó a ocupar entre un 45 y 48 % del total de las exportaciones de Costa Rica en la década de 1830 (Araya Pochet, 1976), con el correspondiente consumo de mercurio para realizar la amalgamación.

Como se muestra en el cuadro 3, hubo explotación de oro, plata, cobre y plomo. Esos recursos tenían preferencia en la economía costarricense de la época, y provenían principalmente de minas en Corralillo y Machuca, provincias de Cartago y San José, respectivamente. En las extracciones el método utilizado siempre fue la amalgamación (Araya Pochet, 1967). No obstante, el uso del mercurio careció de cuidados técnicos, tal como se explica a continuación.

Costa Rica no tenía ingenieros de minas ni trabajadores que conocieran bien los quehaceres de las minas (Kussmaul, 2007). Araya Pochet (1976) describe la técnica de extracción como “bastante deficiente” por lo que la explotación fue considerada por el autor como “superficial” gracias a la falta de tecnología para excavar a mayores profundidades y falta de materiales, caminos y operarios “inteligentes”. Araya Pochet (1976) cita que en el año 1825 la técnica de extracción era muy rudimentaria y lenta:

*"Extraen el metal moliendo y lavando la piedra, ... Una vez reducidas las piedras y tierras a un polvo tan fino ..., los ponen en el tronco de un árbol cavado con tal objeto en forma algo parecido a la de la canoa. Echan entonces agua en esta cuba para que sature bien e introducen el **azogue**, batiendo constantemente a fin de que se amalgame con el metal. Luego quitan la tierra lavándola y queda adentro el **azogue** que presenta una consistencia como la de la masilla. Lo colocan después en una tela de Rusia y lo retuercen ..., el **mercurio** pasa a través quedando el metal. En seguida lo echan en crisoles y lo funden, mezclando con salitre en lingotes de oro y plata."*

Como puede apreciarse, la amalgamación se hacía manualmente, se utilizaba agua y el exceso de mercurio se filtraba a través de una tela. No se menciona ningún mecanismo de recuperación del mercurio. Vargas (2008) describe que para esta primera etapa de minería en el país en los años de 1800 el azogue utilizado para la extracción de oro, “provenía de Huancavelica (Perú), donde fueron descubiertas en 1563 minas de ese metal”.

El primer “ciclo minero” del oro finalizó a mediados del siglo XIX. Gracias a la falta de tecnologías, se agotó el oro en la superficie (Kussmaul, 2007), y la minería en los Montes del Aguacate disminuyó considerablemente. Araya Pochet (1977) describe que, de las 19 minas reportadas a finales de esa época, sólo había tres activas (evidenciando un severo declive de la minería entre 1843 y 1890). Mientras esto ocurría, el café se convirtió en el producto básico de mayor exportación (Araya Pochet, 1977). Al final del primer ciclo minero también disminuyó el consumo de mercurio en el país en la minería.

#### ***4.1.2.2. Segundo ciclo minero (1890 – 1930)***

En 1857 y en 1867, se descubrieron dos minas de oro vírgenes en la cordillera de Tilarán. Esto generó una nueva ola de interés por la minería de oro (Kussmaul, 2007). En 1890 volvió a tomar fuerza el nuevo proceso de reactivación de la minería, que duró hasta 1930. Hacia 1892, la mayor parte de la actividad minera de oro se siguió concentrando en los Montes del Aguacate y áreas aledañas. Surgieron nuevas áreas mineras en las provincias de Puntarenas y Guanacaste, y, en consecuencia, nuevos focos de potencial contaminación por mercurio.

Esta explotación se desarrolló en una región llamada Sierra Minera. Geográficamente, comprende la última sección de la Cordillera de Guanacaste y está ubicada entre la depresión del volcán Arenal y el Valle del Río Grande. Las principales áreas donde se desarrolló la explotación minera según Araya (1977) son:

- Montes del Aguacate
- Región de Abangares
- Región de Tilarán

- Región de Montes de Oro (que comprendió los distritos mineros de la Unión Miramar, cuya explotación comenzó en 1881)

Durante este nuevo ciclo minero aparecieron nuevas técnicas de extracción y nuevas tecnologías (Araya Pochet, 1977). También llegaron a Costa Rica ingenieros de minas que se encargaron de los nuevos yacimientos encontrados, de evaluar el potencial de minas antiguas, y de implementar nuevos métodos de explotación (Kussmaul, 2007). No solo se obtenían maneras más ingenieriles de estudio de la zona y desarrollo de túneles para la extracción, sino también formas alternativas para el procesamiento con mercurio:

*"La amalgama de oro y mercurio se sometía a un horno, que permitía separar ambos elementos, precipitándose el azogue en un depósito de agua y quedando el oro que se fundía para limpiar definitivamente el metal que formaba barras ya listas para venderse en el mercado, ..."* (Araya Pochet, 1977).

Este segundo ciclo minero también contribuye a dar origen a una legislación “minera liberal”. En general, la legislación costarricense de la época permitía la importación libre de maquinaria y suministros, entre ellos el mercurio (cuyas cantidades se investigaron, pero no se pudieron determinar), además de bajos cobros en impuestos sobre la producción (Kussmaul, 2007). Castillo (2006) comenta este segundo ciclo diciendo que “la minería industrial a gran escala se apropia de la geografía costarricense”.

Esta época también se caracterizó por las nuevas tendencias sociales que aparecieron gracias al auge minero del “segundo ciclo”. Las minas eran privadas y gozaban de la protección del Estado. De este mismo período es el término *coligallero*. Con él se empezó a llamar a personas que furtiva e independientemente se ubicaban a los alrededores de las minas para extraer oro por amalgamación por su propia cuenta y luego lo procesaban a orillas de los ríos, convirtiéndose en otra fuente de contaminación por mercurio. Para el Estado y los dueños de minas, estas personas eran consideradas ladrones (Castillo, 2006). Sin embargo, el saber de la existencia de esta clase social, que también utilizaba el azogue para la obtención del oro, deja ver que la contaminación en los ríos cercanos a los lugares donde

se sabía que existía la presencia de oro, son altos focos de contaminación por mercurio gracias a la minería informal.

#### 4.1.3. Otros usos del mercurio en el país: luminarias para el alumbrado público.

A partir de documentos proporcionados por el Archivo Nacional, se identificó otra fuente potencial de mercurio. Entre la información disponible, se encontraron referencias de licitaciones y facturas de municipalidades para la compra de luminaria pública con mercurio. La figura 2 muestra un ejemplo relacionado con una licitación. La figura 3 muestra una factura. Ambos documentos se refieren a luminarias públicas, que desde mediados del siglo XX se fabricaban con un elevado contenido de mercurio (EPA, 1997), que era el material incandescente que iluminaba.

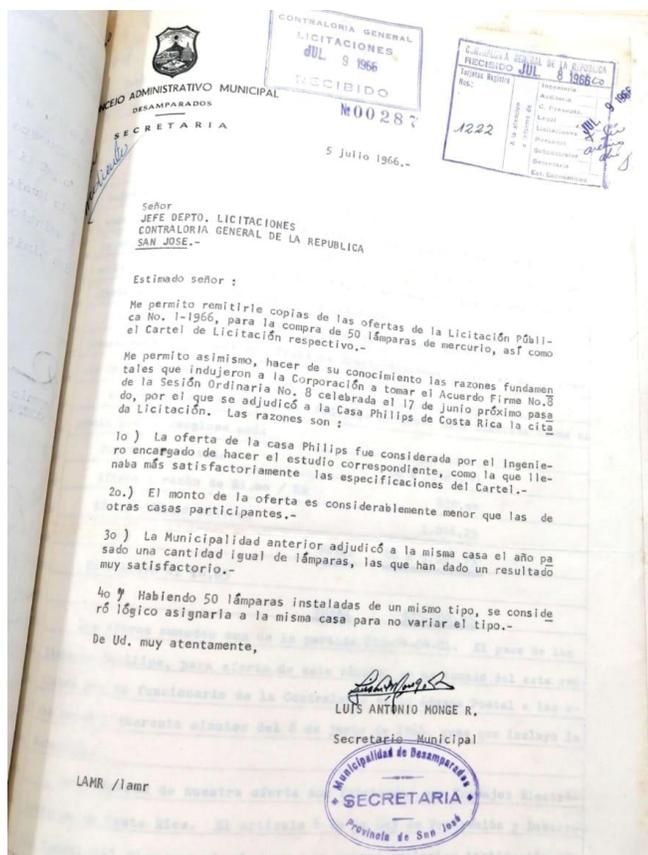


Figura 2. Carta del Secretario municipal de Desamparados al departamento de Licitaciones de la Contraloría General de la República para la compra de 50 lámpara de mercurio.

Fuente: Archivo Nacional

DETALLE DE LA FACTURA # 6915, POR EL MES DE NOVIEMBRE DE 1967

<u>L O C A L I D A D</u>	<u>TUBOS FLUORESC.</u>	<u>BASES P/. LAMPARAS</u>	<u>BALASTROS</u>	<u>ARRANCADORES</u>	<u>V A L O R</u>
Barrio Fátima	9			3	45.00
Barrio San Gerardo	8				77.05
Calle Blancos	3				18.75
Guadalupe Centro	16				133.85
La Mora	2				9.15
Lotes Ballar	13				59.40
Postes #s. 8-16-24-39 y 81.	6				27.40
Recta entre Guadalupe y Moravia.	13				69.50
Santa Eduviges	4				23.75
Sección Facio	41				244.00
Sección Incurables	4				37.45
					<u>\$ 745.30</u>

Figura 3. Factura de la municipalidad de Goicoechea para el mes de noviembre de 1967 para la compra de 119 tubos fluorescentes (que utilizan mercurio).

Fuente: Archivo Nacional

En la figura 2 se muestra una carta dirigida al departamento de licitaciones de la Contraloría General de la República por parte de la municipalidad de Desamparados en el año 1966. En esta carta se mencionan las distintas ofertas con las que cuentan para la instalación de 50 lámparas de mercurio y cuál de ellas fue la oferta escogida, así como las razones para hacerlo. Cabe destacar que se menciona que en 1965 la administración a cargo ya había comprado otras 50 lámparas de mercurio para la municipalidad. Teniendo entonces

que para esta época la municipalidad de Desamparados adquirió al menos 100 lámparas de mercurio para el alumbrado público en dos años. Resulta importante enfatizar que no se encontraron datos semejantes para otras municipalidades. Sin embargo, si se considera que el cantón de Desamparados tuvo una iluminación pública igual a los otros cantones de la provincia de San José, resulta necesario plantear diferentes escenarios dentro de esta reconstrucción histórica. Tales escenarios se plantean en una sección posterior.

En la figura 3 se muestra una factura de la municipalidad de Goicoechea de 1967. El documento muestra las cantidades de tubos fluorescentes para los distintos lugares del cantón, así como el valor que se tuvo que pagar por cada una de ellas. Teniendo una sumatoria de 119 lámparas de mercurio compradas por la municipalidad de Goicoechea en ese año. Un razonamiento similar se podría aplicar en este caso para la reconstrucción histórica del número de lámparas fluorescentes en la provincia de San José.

En 1968 se encontró el registro acerca del inadecuado uso de lámparas de mercurio en la municipalidad de Goicoechea (Archivo Nacional, 1968a). En el mismo año otro registro hace constar la solicitud de nuevas lámparas de mercurio para Goicoechea, sin embargo, en este documento no se especifica la cantidad (Archivo Nacional 1968b). En otro documento de 1971, la municipalidad de Goicoechea explicaba en su correspondencia al Consejo Municipal por qué aún no había instalación de lámparas de mercurio en el distrito de Calle Blancos (Archivo Nacional, 1971). En el año 1972 la misma municipalidad licitó la compra de esas lámparas para Calle Blancos (Archivo Nacional, 1972) y el Consejo Municipal instruyó su instalación (Archivo Nacional, 1973). Se encontraron más documentos de la misma municipalidad hasta el año de 1980. Los temas de esos documentos son la instalación de lámparas de mercurio, y nuevos pedidos de las mismas lámparas para otras zonas del cantón, pero todos estos no presentaban especificaciones sobre las cantidades de luminarias.

Luego de la minería, la presencia de mercurio predominó en el alumbrado público, de acuerdo con los documentos históricos pertenecientes al Archivo Nacional de Costa Rica. Sin embargo, estas fueron de las pocas evidencias que se logró encontrar. El Archivo no posee registros similares de otras municipalidades acerca del tema. Además, solo de los archivos mencionados se logró encontrar información necesaria para la cuantificación de mercurio. Las otras se encontraban incompletas o solo hablaban en términos monetarios sin especificar cual parte del presupuesto corresponde a las lámparas y cual a la instalación y

mano de obra (reflejando limitaciones importantes en materia ambiental en las compras públicas de Costa Rica en esa época).

No obstante, la información recopilada también demuestra que en Costa Rica existió una alta presencia de mercurio en el uso de lámparas para alumbrado público principalmente. Esto coincide con las conclusiones del perfil nacional de uso del mercurio en la actualidad (Fernández *et al*, 2017) acerca de la falta de una gestión de residuos de mercurio en todo el país. Si con esta primera investigación histórica a nivel nacional se encuentra que, en dos años, tan solo dos municipalidades del país cuentan con al menos 100 lámparas de mercurio cada una, cuantas lámparas se podrían haber tenido en los 63 cantones existentes (Dirección General de Estadística y Censos, 1950) de ese momento en el país. Se intentará dar respuesta a esto ofreciendo diferentes escenarios en una sección posterior de este capítulo.

#### 4.2. ENTREVISTAS A EXPERTOS

Para ahondar en el tema acerca de la posible existencia de minería de azogue (mercurio) en el país, independientemente de su uso en minería de oro o de plata, se entrevistó a expertos en geología y presencia de mercurio en el país. En el cuadro 4 se presenta un resumen de las entrevistas realizadas.

Cuadro 4. Resumen de las entrevistas realizadas a expertos del tema de minería de mercurio en el país.

<b>Pregunta</b>	<b>Respuesta</b>
<p>¿En Costa Rica se han identificado regiones donde haya mercurio o minerales que contengan mercurio (como cinabrio) que pudieran haber sido de interés para explotación?</p>	<p>Todos los expertos consultados coincidieron en que existe mercurio a nivel de trazas, es decir, en concentraciones bajas, de manera puntual y sin potencial comercial. En cantidades “normales” de existencia en ambientes volcánicos.</p>
<p>¿Históricamente hay evidencia de que algo se explotó o hubo importaciones?</p>	<p>La mayoría de los expertos comentó que no tenían evidencias de explotación de mercurio dentro del país, hablaron de conocimiento de minas de mercurio en Nicaragua y en México (que se dijo, ser el país que con uno de los yacimientos de mercurio más grandes) y de conocer que, en Costa Rica, el mercurio ha tenido distintos usos y por ende sí existen importaciones. Coincidieron en que muchas importaciones posiblemente son ilícitas.</p>
<p>¿Conoce históricamente de denuncias de su intento de explotación?</p>	<p>En esta pregunta todos coincidieron en que no conocían en ninguna medida denuncias sobre intento de explotación de mercurio en Costa Rica.</p>
<p>¿Legalmente qué se conoce acerca de la legislación de explotación de mercurio en el país? ¿Cuáles consideraciones se tenían?</p>	<p>El código de minería actual rige desde 1 982. Uno de ellos comentó que desde el tiempo de la colonia existía el código de minería de España, llamado la ley de Indias. En 1 953 fue aprobado el primer código de minería y se fundó el departamento de Biología, Minas y Petróleo que es el actual departamento de Dirección de Geología y Minas del Ministerio de Ambiente.</p>

El cuadro 4 resume que, según los expertos en el tema, la explotación de azogue en nuestro país no es de ninguna manera posible y que no tienen conocimiento de intentos sobre ella. Esto último se contrapone con los hallazgos expuestos en la sección anterior a partir de documentos oficiales encontrados en el Archivo Nacional de Costa Rica. En el siguiente párrafo se discute más acerca de la demanda de mercurio en el país asociada a la poca disponibilidad natural que hicieron constar los expertos consultados.

En el Archivo Nacional se encontraron otras evidencias de comercio de mercurio, y distintos problemas asociados a su demanda. Por ejemplo, existen registros del año 1825 acerca de la comercialización de botellas de azogue. Aparentemente se había fijado una especificación en cuanto a la cantidad de azogue por botella. Sin embargo, había una queja, pues el peso era diferente al peso que se había autorizado (Archivo Nacional, 1824b). También se registran demandas por deudas de azogue (Archivo Nacional, 1826), y remates de botellas de azogue (Archivo Nacional, 1833) (en ninguno de estos casos se encontró información acerca de cantidades que se pudieran utilizar en la reconstrucción cuantitativa). Se encontraron expedientes en contra de distintas personas por hurto de mercurio (Archivo Nacional, 1913; 1914). Esto reafirma la hipótesis de que las denuncias de minería de azogue se dieron más que todo por la necesidad que existía en ese momento de contar con mercurio disponible a bajo costo. Sin embargo, el autor Vargas (2008) describe que el mercurio que se utilizaba dentro de la minería de oro, especialmente en los Montes del Aguacate, provenía de Huancavelica, Perú. Lo cual da a entender que definitivamente la extracción de mercurio no fue algo que ocurrió en suelo costarricense.

#### 4.3. RECONSTRUCCIÓN HISTÓRICA DE LIBERACIONES DE MERCURIO

En el siguiente apartado se encuentra la reconstrucción histórica de las liberaciones de mercurio. Los datos utilizados para esta reconstrucción fueron recopilados a partir de los ciclos mineros del país y de los documentos del Archivo Nacional anteriormente mencionados. El apartado se divide en los dos grandes usos históricos encontrados, así como en diferentes escenarios planteados con base en dichos usos.

#### 4.3.1. Reconstrucción histórica de la minería

Con las fórmulas [1] y [2] descritas en el apartado 4.3 se obtiene el cuadro 5. Este describe que en Costa Rica se llegaron a liberar más de 145 toneladas de mercurio gracias a los dos ciclos mineros que se dieron en el país. Mostrando de esta forma que Costa Rica sí llegó a contribuir con las emisiones antropogénicas de mercurio mundial y también que algo de ese mercurio puede seguir estando presente en las zonas en las que se desarrollaron las minas. Dando a entender la posibilidad de que exista un riesgo significativo en estas ubicaciones en la actualidad.

Cuadro 5. Inventario del mercurio liberado al ambiente por la minería en Costa Rica.

	<b>Actividad de uso</b>	<b>kg de plata y oro</b>	<b>kg equivalente de mercurio perdido</b>
<b>Primer Ciclo Minero</b>	Cuño de moneda	811,89	1 380,21
<b>Segundo Ciclo Minero (Primera fase)</b>	Exportación	398	676
<b>Segundo Ciclo Minero (Segunda fase)</b>	Exportación	84 477	143 610
<b>TOTAL</b>		<b>85 687,89</b>	<b>145 666,21</b>

En el cuadro 5 se observa la cantidad de mercurio liberado en forma de pérdidas en la minería de oro y plata. Durante el primer ciclo minero el mercurio perdido fue cercano a 1,5 toneladas. En el segundo ciclo esa cantidad aumento hasta cerca de 144 toneladas. En total, en ambos ciclos mineros hubo pérdidas equivalentes cercanas a las 146 toneladas de mercurio. Estos valores se estimaron utilizando el dato de 1,7 kg Hg (Nriagu,1994) perdido por cada kg de oro extraído para ambos ciclos mineros, se realizó la reconstrucción histórica de cuánto mercurio perdido se pudo liberar como consecuencia de esta parte de la historia de Costa Rica (este dato se seleccionó tomando en cuenta las características de la minería de Costa Rica descritas en el apartado 5.1.2. Siendo está bastante rudimentaria y poco avanzada en comparación a otros países latinoamericanos que contaban con el proceso de la minería desde sus épocas coloniales).

Nriagu (1994) hace mención de que indiscutiblemente se debe de tener una adecuada cantidad de mercurio para el éxito de la minería. Sin embargo, aunque el mercurio se intentaba recuperar durante la operación de la mina, existe una gran fracción del mercurio se extraviaba durante el proceso. Esto se da especialmente por el poco cuidado que se podía tener de parte de los mineros y las condiciones tecnológicas. Las pérdidas del mercurio pueden ocurrir en las distintas etapas de la operación de la mina (Nriagu, 1994). Dentro de las minas el mercurio puede trasladarse dentro de envases como sartenes o barriles que no evitaban los derrames, resultando en descuidos. El autor (Nriagu, 1994) describe que se llegaron a encontrar más de 500 kg de mercurio en los cimientos de unos sartenes en una compañía de Colorado. Sin embargo, la mayoría de las pérdidas ocurre en el proceso de amalgamación. Además, ocurría que, con el uso continuo, el aspecto del mercurio se convertía en “grasoso” y debía desecharse. Nriagu (1994) explica que para el siglo XVIII en Bolivia se conocía la “regla” de que se perdían 1,5 kg de mercurio por 1 kg de metal producido. Sin embargo, esto puede variar entre 0,85 kg Hg/kg de metal para minas improvisadas (que necesitan mucho menos mercurio porque las cantidades de oro y plata son muy pequeñas) y 4,1 kg Hg/kg de metal para minas más ricas. La correspondencia que tenían las minas de la colonia es bastante similar a las asociadas a la minería más moderna (1900) que fue estimada en un ámbito de 1,3-1,7 kg Hg/ kg de oro recuperado (Nriagu, 1994).

En el anexo 3 se encuentran las especificaciones históricas sobre la obtención de la cantidad de mercurio en cada ciclo minero.

#### ***4.3.1.1. Contaminación de mercurio en suelo costarricense en el primer ciclo minero.***

De acuerdo con la información demostrada en el cuadro 5, el primer ciclo minero deja más de mil kg de mercurio libres en el país. Gracias a Araya Pochet (1976) se conocen de las principales minas la extensión lineal. Para tener una aproximación de cuanta contaminación puede existir en los territorios de estas minas se realiza una estimación a partir de la dispersión del mercurio perdido por cada metro lineal de extensión de las zonas de extracción minera. Utilizando los 811,9 kg de oro y plata que se conoce que se extrajeron en este primer ciclo minero y suponiendo que la mayor parte de este oro se extrajo de estas minas (esto por ser descritas como las más intensamente explotadas) se obtiene el cuadro 6.

Cuadro 6. Cantidad de Hg perdido por metro de mina en las distintas minas de Costa Rica en el primer ciclo minero.

MINA	METROS	% terreno	kg oro extraídos de cada mina	g Hg /m
Oreamuno	828,2	33	267,92	549,9
San Rafael	167,6	7	56,83	576,4
Castro	670,5	26	211,09	535,2
Minita	353,2	14	113,66	547,1
San Miguel	502,9	20	162,37	548,9
<b>TOTAL</b>	<b>2 522,4</b>	<b>100</b>	<b>811,87</b>	<b>2 757,5</b>

Como se puede ver en el cuadro 6, en un total de 2 522,4 m hubo pérdidas de 2 757,5 g Hg/m. Esto significa que durante el primer ciclo minero en Costa Rica se incorporaron al ambiente cantidades de mercurio equivalentes a aproximadamente 2,8 kg Hg por cada metro lineal de extensión donde fue utilizado. Este dato acerca de los gramos de mercurio perdidos por metro en cada una de estas minas del país se obtiene de esta manera gracias a que son los datos disponibles reportados por las autoridades de la época. En otras palabras, se tiene la certeza que más de 500 g de mercurio por metro de cada propiedad se pudieron encontrar en el suelo de las minas costarricenses. Esto solo se pudo realizar para el primer ciclo minero, ya que, no se encontró ningún reporte sobre las longitudes o cantidades de terreno de las nuevas minas o extensiones de las existentes del primer ciclo minero.

#### 4.3.2. Reconstrucción histórica de la iluminación pública.

De los documentos encontrados en el Archivo Nacional solamente hay datos de luminarias públicas de un año específico de dos municipalidades: Desamparados en 1966 y Goicoechea en 1967 (ambas pertenecientes a la provincia de San José) como se explicó en el apartado 6.1.3. Para el cálculo de cuánto mercurio contiene cada una de estas luminarias se buscó información en la Agencia de Protección Ambiental. En el cuadro 7 se muestra el contenido total de mercurio en lámparas fluorescentes T12 (fluorescentes utilizados para el alumbrado público, entre otros) (EPA, *Environmental Protection Agency*, 1997). Esta cantidad de mercurio depende del año de manufactura.

Cuadro 7. Contenido de mercurio de lámparas T12 (miligramos por lámpara)

Año	Hg <sup>0</sup>	Hg <sup>2+</sup>	Total
pre - 1992	0,082	40,918	41
1992 -1996	0,06	29,940	30
1997 - 2007	0,042	20,958	21

Fuente: EPA, 1997

Se puede observar como las lámparas de mercurio fabricadas antes de 1992 contaban con el doble de mercurio que las fabricadas luego de esta fecha. Antes de 1992 las lámparas contenían 82 microgramos de mercurio elemental y el restante mercurio como Hg (II) luego de 1992 estas cantidades comenzaron a disminuir. Utilizando estos datos de la EPA (1997) se reconstruyó la información de cuánto mercurio podría haber existido en la segunda mitad del siglo XX en Costa Rica por luminarias públicas a partir del modelo de estimación planteado en la metodología.

A partir del cuadro 8 se muestran los resultados de 4 escenarios distintos para realizar la reconstrucción histórica. En el cuadro 8 se recopilan los resultados del primer escenario, que consiste en la aplicación de la metodología de estimación utilizando solamente la información encontrada en los documentos existentes en el archivo nacional. Los tres escenarios restantes son reconstrucciones elaboradas a partir de suposiciones que serán discutidas más adelante.

Cuadro 8. Escenario 1: Cantidad de mercurio estimado utilizando los datos del Archivo Nacional por iluminación pública utilizando los datos de los documentos encontrados.

Municipalidad	Número de luminarias	mg Hg <sup>0</sup> en total de luminarias	mg Hg <sup>2+</sup> en total de luminarias	mg Hg en todas las luminarias
Desamparados (año de 1966)	100	8,2	4 091,8	4 100
Goicoechea (año de 1967)	119	9,8	4 869,2	4 879
<b>TOTAL</b>	<b>219</b>	<b>18,0</b>	<b>8 961,0</b>	<b>8 979</b>

Para el cálculo de los siguientes 3 escenarios (cuadro 9) se hace una generalización a toda la provincia de San José. Tal generalización se hace suponiendo que todas las municipalidades de la provincia utilizaban la misma tecnología y en esa época compraban la misma cantidad de luminarias aproximadamente. A partir de esta suposición se realizaron proyecciones para toda la provincia a diez años (escenario 3) y a 27 años (escenario 4). El plazo del escenario 4 se hizo coincidir con la fecha de reducción de contenido de mercurio en las luminarias a nivel internacional de acuerdo con los registros de la EPA (1997).

Cuadro 9. Escenarios 2, 3 y 4 para la reconstrucción histórica de mercurio en luminaria pública

Provincia	Número de municipalidades	Escenario 2: Extrapolación de mercurio a dos años		Escenario 3: Estimación de mercurio a una década		Escenario 4: Estimación de mercurio de 1965 a 1992	
		Cantidad luminarias	g de Hg en total	Cantidad luminarias	g de Hg en total	Cantidad luminarias	g de Hg en total
San José	20	4 380,00	179, 580	21 900,00	897, 900	59 130,00	2 424, 330

Como se observa en el cuadro 8, en el año de 1966 la municipalidad de Desamparados contaba con 4,1 gramos de mercurio tan solo en luminaria pública y la municipalidad de Goicoechea, en el año 1967 hacia reporte de una factura por 4,8 gramos de mercurio en el primer escenario.

Para el análisis de las proyecciones se tiene que en solo dos años de compra de luminaria por parte de la provincia de San José se tendrían más de 179 gramos de mercurio. Mientras que en la primera década de la obtención de este tipo de luminaria se contaría con más de 897 gramos de mercurio (segundo escenario). Si se toma en cuenta que en las municipalidades se mantenía el ritmo de compra (buscando satisfacer a la población y manteniendo la calidad alumbrado público) hasta antes de 1992 la manufactura reporta la misma cantidad de mercurio para los tubos fluorescentes de alumbrado público. Con la evidencia de que en 1966 por municipalidad en la provincia de San José se tienen compras

de 200 lámparas, hasta 1992 se debieron tener en esta provincia 59 mil lámparas que contenían más de 2 kg de mercurio.

Esto es alarmante especialmente por la cantidad tan grande de mercurio divalente que posee cada lámpara (más del 95% del mercurio total). La afirmación de la falta de gestión responsable de estos residuos en el país (Fernández et al, 2017) evidencia la contaminación de mercurio que pueda existir en el territorio costarricense. Alerta que llama a una investigación más sobre la cantidad de mercurio presente en el país.

### 4.3.3. Resumen de la reconstrucción histórica total.

En el cuadro 10 se encuentra el resumen de este capítulo. Con cada uno de los distintos usos del mercurio encontrados en el país y los respectivos montos calculados para cada uno de estos usos.

Cuadro 10. Resumen de la cantidad de mercurio encontrado en Costa Rica por la reconstrucción histórica.

Actividad de uso	Minería		Iluminación pública			
	Primer ciclo	Segundo ciclo	1° escenario	2° escenario	3° escenario	4° escenario
<b>Mercurio encontrado (kg)</b>	1 380,21	<b>145 666,21</b>	0,0089	0,180	0,898	2, 424

Como bien resalta el cuadro 10, históricamente sí ha existido presencia de mercurio en Costa Rica. Sin embargo, uno de estos principales usos encontrados presenta cantidades significativamente mayores al otro. La iluminación pública a base de mercurio es un hecho documental en el país, pero la cantidad de mercurio presente en el ambiente no genera tanto impacto como el liberado por la minería. En el primer escenario se contempla solamente lo encontrado documentalmente, en el segundo una extrapolación si todos los municipios de la zona, con misma tecnología, hicieron aproximadamente las mismas compras durante dos

años, el tercero es esto mismo, pero se usaron a diez años y el último escenario a veintisiete años. No se realiza una sumatoria ya que cada escenario está contemplando el anterior. Es importante resaltar que el hecho del uso de mercurio en luminaria pública y la nula gestión que reciben sus residuos, a largo plazo comienza a presentar aumento en su agravio. En diez años de uso de luminaria de mercurio en una sola provincia, no representa más de 1 kg de mercurio. Sin embargo, en 17 años más, casi se llega a 1,5 kg. Aunque exista cambio de tecnología luego de este momento, sigue existiendo la contaminación anterior que, si no se toma en cuenta y se realiza una gestión de riesgo, esta puede llegar a generar serias consecuencias, como la historia demostró como con el desastre de Minamata.

Por otra parte, se debe destacar el impacto que generó la minería en Costa Rica. Las toneladas de mercurio teóricas calculadas demuestran que fueron más de 145 toneladas (cuadro 5). Las cuales son de suma importancia poder llevar a investigaciones de campo futuras y conocer sobre el impacto real que pueden estar teniendo esas acumulaciones de mercurio en la población.

El análisis histórico da indicadores teóricos sobre la magnitud de la contaminación que existió y puede seguir existiendo en el ambiente. El poder tener estos indicadores marca una diferencia para poder tomar decisiones oportunas y realizar la mitigación de los efectos adversos que se puedan estar generando en los alrededores.

En el Anexo 4 se presenta un resumen ejecutivo de los hallazgos históricos sobre el uso y presencia del mercurio en Costa Rica mencionados anteriormente. el cual servirá para poder comunicar con mayor agilidad los resultados obtenidos. De esta forma proponer que puedan ser utilizados en toma de decisiones para temas de educación y prevención, así como el planteamiento de nuevos proyectos para la implementación del Convenio de Minamata y sus objetivos para la protección de la salud humana contra los efectos nocivos del mercurio.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se identificaron tres tipos de evidencia histórica relacionadas con la presencia y uso del mercurio en Costa Rica. La primera, fue evidencia de extracción de mercurio elemental. Esto ocurrió gracias a que los suelos volcánicos poseen trazas de mercurio, pero no en cantidad suficientemente grande para ser extraído eficientemente. El segundo tipo de evidencia fue la documentación asociada con el uso de mercurio en la explotación minera. La tercera fue la evidencia de compras públicas para el alumbrado municipal con más de 100 lámparas en un año para dos distintas municipalidades.

La reconstrucción histórica realizada permitió estimar 145 toneladas de mercurio emitidas al ambiente a lo largo de los dos ciclos mineros documentados (Araya Pochet, 1976; Araya Pochet, 1977). Estas cantidades de mercurio no solo pudieron haber sido evaporadas sino también pueden existir reservorios en las antiguas minas y ser estos puntos de contaminación difusa. Así como que más de 500 g de Hg por metro de propiedad había presentes gracias a la influencia del primer ciclo minero. El estudio de los ciclos mineros mostró los Montes del Aguacate como una potencial ubicación de contaminación de mercurio en el país. Esta zona valdría la pena ser monitoreada por estudios de investigación futuros. En el anexo 5, cuadro 15 se incluye un resumen ejecutivo de estos hallazgos para su remisión a las autoridades responsables de la implementación del Convenio de Minamata.

Como recomendaciones para poder realizar correctamente un análisis histórico y poder incorporar los datos encontrados a la implementación del Convenio de Minamata por las Partes interesadas se sugieren las siguientes etapas:

1. Revisión teórica sobre la documentación histórica nacional completa o dividida según las partes geográficas del país. Conocer sobre la historia del mineral dentro de la zona designada: su presencia y usos más relevantes. Poder hacer un inventario con los hallazgos teóricos realizados para determinar zonas prioritarias que contengan mayor problema de contaminación.

Con base en los hallazgos de la etapa 1 se realizan las etapas siguientes:

2. Revisión de yacimientos de mercurio en el país: se debe hacer un análisis de las evidencias existentes sobre puntos calientes (lugares con alta contaminación) naturales en los cuales el mercurio haya podido ser liberado al ambiente lentamente.

O si no se cuenta con estos yacimientos, hacer revisión de las zonas en donde el mercurio haya sido utilizado en grandes cantidades.

3. Para la revisión se recomienda realizar muestreos en las tres matrices de las zonas afectadas (agua, suelo y aire). Además, un análisis de abundancia isotópica en el caso que se pueda, para verificar la relación con la abundancia histórica existente, ya que este análisis isotópico trabaja como una “memoria” de moléculas tanto bióticas como abióticas (Muñoz. 2016).

Estos pasos pueden ayudar a complementar el inventario a nivel nacional existente y proporcionar más información base para tomar acciones solicitadas por el convenio, como lo son: los inventarios solicitados por el artículo 8 y 9 de emisiones y liberaciones, también en el artículo 12 sobre estrategias adecuadas para identificación y evaluación de sitios contaminados. Así como también con el artículo 18 y 19 que impulsan tanto la sensibilización al público y la creación de mayor investigación y vigilancia de la problemática. El análisis histórico es el complemento necesario para que el Convenio de Minamata pueda incrementar su éxito de reducción de problemáticas relacionadas con mercurio en el presente y el futuro.

## 6. REFERENCIAS

- Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA) (junio 30, 1997). *Mercury Emissions from the disposal of fluorescent lamps: Final Report*. Office of Solid Waste U.S Environmental Protection Agency. Recuperado de: <https://archive.epa.gov/epawaste/hazard/web/pdf/merc-rpt.pdf>
- Aguayo, M. (2019). *Convenio de Minamata y Regulación del mercurio en Chile*. Tesis para optar al grado de Magíster en Derecho Ambiental. Escuela de postgrado. Facultad de Derecho. Universidad de Chile, Santiago. URL: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/170105>.
- Ancora, M., Zhang, L., Wang, S., Schreifels, J., & Hao, J. (2016). Meeting Minamata: Cost-effective compliance options for atmospheric mercury control in Chinese coal-fired power plants. *Energy Policy*, 88, 485-494.
- Aparicio, L. (2015). El mercurio en la cuenca del Tambopata. Repercusiones en la salud humana y del ecosistema. Tesis de Grado. *Universidad Nacional Agraria La Molina*. Lima-Perú.
- Araya Pochet, C. (1976) *La minería en Costa Rica 1821-1843*. Universidad de Costa Rica, Escuela de Historia y Geografía.
- Araya Pochet, C. (1977). El segundo ciclo minero en Costa Rica. *Revista Geográfica*, (86/87), 81-100.
- Archivo Nacional. (1703). *Despacho fecho en Madrid y dirigido al Gobernador y Capitán General de Costa Rica. Acompaña el índice de cinco despachos que se le envían en un navío de azogues, a cargo del Almirante Francisco Garrote*. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CA, 000118
- Archivo Nacional (1811). *Municipal de Cartago. En sesión de este día, el Cabildo conoció una Real Cédula sobre la absoluta libertad de derechos a las minas de azogues. Se conoció un oficio del Intendente relativo a la remisión de las cuentas de propios*. Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-MU, 000768.
- Archivo Nacional (1824a). *Oficio de la Junta Gubernativa al intendente Juan Mora. Le comunica la contrata que ha celebrado con Ricardo Trevithick para la adquisición de 20 quintales de azogue a razón de 200 pesos el quintal puesto en el puerto de Punta de Arenas*. Puerto de Puntarenas. Código y signatura del archivo: CR-AN-AH-PI, 001127.

Archivo Nacional (1824b). *Carta de Ricardo Trevithick al Intendente Juan Mora, fechada en el Ingenio de Britania. Se refiere a unas botellas de azogue cuyo peso difiere del que había resultado en Lima.* Código y signatura del Archivo CR-AN-AH-PI, 001038.

Archivo Nacional. (1825a). *Por orden del Jefe Supremo del Estado el Ministro del Despacho remite a la Municipalidad de Heredia los siguientes ejemplares: 2 de la Descripción del beneficio del azogue, para los que se dedican a este trabajo; 1 del Sistema de Enseñanza en México para que sirva de regla a los Maestros, 2 del Informe del Supremo Poder Ejecutivo, sobre empréstitos, 2 del Discurso del mismo sobre tabacos y dos sobre el idem y memoria del Presidente del Supremo Gobierno en la apertura del Congreso Federal, dando cuenta del recibo de todos ellos.* Provincia de Heredia. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-MU, 000847.

Archivo Nacional. (1825b). *Se reciben acuerdos sobre beneficio de metales por azogue, sistema de enseñanza mutua en México, informes sobre empréstitos, renta de tabacos y discurso y memoria del Presidente del Supremo Gobierno en la apertura del Congreso.* Provincia de San José. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-MU, 000242.

Archivo Nacional. (1825c). *Asuntos: Beneficio de metales por azogue; sistema de enseñanza mutua; renta de tabacos; discurso del Presidente en la apertura del Congreso Federal; fondo de propios gravando el hierro y el acero, lo mismo que al barril de vino o carga de botijas; gravar cajones de loza o sombreros y cargas de algodón. Manifiesto de la Asamblea Legislativa a los pueblos. Queja del Síndico Esquivel por destace de ganado enfermo, disposiciones para controlarlo. Cuentas de Propios y común de Pavas.* Libro de actas municipales. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-MU, 000480.

Archivo Nacional. (1826). *Jorge Stiepel demanda a Manuel Núñez por ciento veinte y cuatro pesos y uno y medio reales 124 pesos 1 1/2 reales, que le adeuda por concepto de un azogue y unas herramientas que le vendió.* San José. Folios 1 a 7. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-FED, 000920.

Archivo Nacional. (1833). *Comunicaciones de la Intendencia General al Ministro General sobre nombramiento de agrimensor troqueles de cuño del Estado negocios despachados por el Consejo Representativo, estanquillos el Mineral del Aguacate, derechos de peaje y lazareto en la Garita del Río Grande, Ermita en la Sabana, cuerpos de milicia, tolerancia de cultos, remate de frascos de azogue.* Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-MG, 026770

Archivo Nacional. (1876). *Expediente de Donald P. Cameron Frazer denunciando una mina de mercurio en Santa Rosa de Candelaria.* Provincia de Guanacaste. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-JYA-EXPJUDP, 013640.

- Archivo Nacional. (1899). *Expediente de denuncia de una mina de azogue cerca del volcán Irazú, distrito cuarto, cantón segundo de Cartago. Hecho por Teófilo Borbón Muñoz y Teófilo Borbón Fernández.* Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-EXPJU, 006164.
- Archivo Nacional. (1899). *Expediente de denuncia de una mina de azogue en Tierra Morena, San Isidro de San José, hecho por Teófilo Borbón Fernández.* Provincia de San José. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-EXPJU, 006185.
- Archivo Nacional. (1900a). *Expediente de denuncia de una mina de azogue en el distrito tercero, cantón primero de Cartago, hecho por Jorge R. Guier y otros.* Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-EXPJU, 006193.
- Archivo Nacional. (1900b). *Expediente de denuncia de una mina de azogue en Cartago. Hecho por Augusto Gallardo y otros.* Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-EXPJU, 006193.
- Archivo Nacional. (1900c). *Expediente de denuncia de una mina de azogue en Cartago. Hecho por Rafael Escalante y otros.* Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-EXPJU, 006193.
- Archivo Nacional. (1900d). *Expediente de denuncia de una mina de azogue en el Distrito 3° del Cantón 1° de Cartago, hecho por Felipe Martín y otros.* Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-EXPJU, 006193.
- Archivo Nacional. (1900e). *Expediente de denuncia de una mina en azogue en el distrito tercero, cantón primero de Cartago. Hecho por Ricardo Nanne y otros.* Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-EXPJU, 006193.
- Archivo Nacional. (1900f). *Expediente de denuncia de una mina de azogue en el distrito Tercero Cantón Primero de Cartago. Hecho por Nicolás Oreamuno y otros.* Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-EXPJU, 006193.
- Archivo Nacional. (1900g). *Expediente de denuncia de una mina de azogue en el distrito Tercero Cantón Primero de Cartago. Hecho por Nicolás Oreamuno y otros.* Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-EXPJU, 006193.
- Archivo Nacional. (1900h). *Expediente de denuncia de una mina de azogue en el distrito tercero del cantón primero de Cartago. Hecho por Francisco Oreamuno P. y otros.* Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-EXPJU, 006193.

- Archivo Nacional. (1900i). *Expediente de denuncia de una mina de azogue en el distrito tercero cantón primero de cartago. Hecho por José María Oreamuno S. y otros.* Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-EXPJU, 006193.
- Archivo Nacional. (1900j). *Expediente de denuncia de una mina de azogue en el distrito 3 cantón 1 de Cartago. Hecho por Alfredo Sancho y otros.* Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-EXPJU, 006193.
- Archivo Nacional. (1900k). *Expediente de denuncia de una mina de azogue en el distrito Tercero, Cantón Primero de Cartago Hecho por Moisés Castro F.* Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-EXPJU, 006193.
- Archivo Nacional. (1900L). *Expediente de denuncia de una mina de azogue en el distrito tercero cantón primero de Cartago. Hecho por Francisco Laporte y otros.* Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-EXPJU, 006193.
- Archivo Nacional. (1900m). *Expediente de denuncia de una mina de azogue en el distrito Tercero en el Cantón Primero de Cartago. Hecho por Jesús Pacheco Cabezas y otros.* Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-EXPJU, 006193.
- Archivo Nacional. (1900o). *Expediente de denuncia de una mina de azogue en el distrito tercero cantón primero de Cartago. Hecho por Juan de Dios Troyo y otros.* Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-EXPJU, 006193.
- Archivo Nacional. (1900p). *Expediente de denuncia de una mina de azogue en el distrito tercero, cantón primero de Cartago, hecho por Teófilo Borbón Fernández y otros.* Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-EXPJU, 006193.
- Archivo Nacional. (1900q). *Expediente de denuncia de una mina de azogue en el distrito tercero, cantón primero de Cartago. Hecho por Teófilo Borbón Muñoz y otros.* Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-EXPJU, 006193.
- Archivo Nacional. (1901a). *Expediente de denuncia de minas. Federico Jiménez Vargas y José Bonilla Peñaranda y otros denuncian una mina de azogue en La Carpintera de Cartago.* Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-EXPJU, 006184.
- Archivo Nacional. (1901b). *Expediente de denuncia de una mina de azogue en La Carpintera de Cartago, establecido por Francisco W Blanco P y otros.* Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-EXPJU, 006184.

- Archivo Nacional. (1901c). *Expediente de denuncia de una mina de azogue en La Carpintera de Cartago. Francisco Vargas Ocampo y sus cuatro hijas y otros*. Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-EXPJU, 006184.
- Archivo Nacional. (1901d). *Expediente de denuncia de un manto mineral conteniendo vetas de cinabrio o azogue en Corralillo de Cartago*. Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-EXPJU, 006708.
- Archivo Nacional. (1901e). *Expediente de denuncia de un manto mineral conteniendo vetas de cinabrio ó azogue en Corralillo de Cartago, hecho por Teófilo Borbón Fernández, siete de sus hijos y otros*. Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-EXPJU, 006708.
- Archivo Nacional. (1901f). *Expediente de denuncia de manto mineral conteniendo vetas de cinabrio ó azogue en El Corralillo Cartago de Gerardo Lara y 3 hijas y otros*. Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-EXPJU, 006708.
- Archivo Nacional. (1902a). *Expediente de Juan José Meléndez Zúñiga y otros quienes denuncian las continuaciones de una mina de sinabrio o azogue en Tierra Blanca de Cartago*. Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-EXPJU, 006681.
- Archivo Nacional. (1902b). *Expediente de denuncia de minas. Simeón Jiménez Segura y otros denuncian las continuaciones de una mina de sinabrio o azogue en Tierra Blanca de Cartago*. Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-EXPJU, 006681.
- Archivo Nacional. (1903a). *Hecho por Ramón Espinach Bonilla, Teófilo Borbón Fernández, Enrique y Guillermo Rlguier Freses. Admitido el denuncia*. Provincia de San José. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-JCAD-EXPDENTM, 006390.
- Archivo Nacional. (1903b). *Expediente de denuncia de una mina de azogue en Tarrazú de San José. Hecho por Ramón Espinach Bonilla y otros*. Provincia de San José. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-JCAD-EXPDENTM, 006390.
- Archivo Nacional. (1903c). *Expediente de denuncia de una mina de azogue en el Abejonal, Tarrazú de San José, hecho por Teófilo Borbón Fernández y otros*. Provincia de San José. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-JCAD-EXPDENTM, 006390.
- Archivo Nacional. (1903d). *Expediente de Enrique Guier Freses y otros, denuncian una mina de azogue, en el Abejonal de Tarrazú de San José. Denuncio de minas*. Provincia de San José. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-JCAD-EXPDENTM, 006390.

- Archivo Nacional. (1903e). *Expediente de Guillermo R. Guier Freses y otros, denuncian una mina de azogue en el Abejonal, Tarrazú de San José. Denuncio de minas*. Provincia de San José. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-JCAD-EXPDENTM, 006390.
- Archivo Nacional. (1903f). *Expediente de denuncia de una mina de azogue y sus continuaciones en Conventillos del Tejar en Cartago. Hecho por Walter Joseph Ford Leatherbarrow, hijas y otros*. Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-EXPJU, 006450.
- Archivo Nacional. (1903g). *Expediente de cesionaria de un denuncia de una mina de azogue y sus continuaciones en Conventillos del Tejar, Cartago. Mercedes Hernández Golcher. Denuncio de minas*. Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-EXPJU, 006450.
- Archivo Nacional. (1903h). *Expediente de denuncia de una mina de azogue y sus continuaciones en Conventillos de Cartago. Promovido por Santiago Fernández Fernández y otros*. Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-EXPJU, 006450.
- Archivo Nacional. (1903i). *Expediente de denuncia de las continuaciones al Sur de una mina de mercurio y cobre en el punto llamado La Laguna de Ochomogo de Cartago. Hecho por José Arias Morúa. Se dio audiencia al Promotor Fiscal respecto al denuncia quedando en ese estado el expediente*. Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-JCAD-EXPDENTM, 006137.
- Archivo Nacional. (1903j). *Expediente de denuncia de las continuaciones al Sur de una mina de mercurio y cobre en el punto llamado La Laguna de Ochomogo de Cartago. Hecho por José Arias Morúa. Se dio audiencia al Promotor Fiscal respecto al denuncia quedando en ese estado el expediente*. Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-JCAD-EXPDENTM, 006137.
- Archivo Nacional. (1903k). *Denuncio de una veta mineral de mercurio y cobre en La Laguna de Ochomogo, cantón primero, distrito quinto de Cartago. Hecho por Dionisio Arias Matamoros. Se admitió el denuncia y se mandaron publicar los edictos de ley quedando en ese estado el expediente*. Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-JCAD-EXPDENTM, 006125.
- Archivo Nacional. (1903L). *Denuncio de una veta mineral de mercurio y cobre en La Laguna de Ochomogo, cantón primero, distrito quinto de Cartago. Hecho por Dionisio Arias Matamoros. Se admitió el denuncia y se mandaron publicar los edictos de ley quedando en ese estado el expediente*. Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-JCAD-EXPDENTM, 006125.

Archivo Nacional. (1903m). *Denuncio de las continuaciones de una veta de oro y mercurio en Las Caídas a orillas del río Reventado, distrito tercero, cantón primero de Cartago. Hecho por Dionisio Arias Matamoros y Próspero Lizano R. Se dio audiencia al Promotor Fiscal respecto al denuncio quedando en ese estado el expediente.* Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-JCAD-EXPDENTM, 006130.

Archivo Nacional. (1903n). *Expediente de denuncio de las continuaciones de una veta de oro y mercurio en Las Caidas a orillas del río Reventado, distrito 3° cantón 1° de la provincia de Cartago. Hecho por Próspero Lizano R. y Dionisio Arias Matamoros.* Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-JCAD-EXPDENTM, 006130.

Archivo Nacional. (1903o). *Expediente de denuncio de las continuaciones de una veta de oro y mercurio en Las Caidas a orillas del río Reventado, distrito 3° antón 1° de la provincia de Cartago. Hecho por Dionisio Arias Matamoros y Próspero Lizano R. Se dio audiencia al Promotor Fiscal respecto al denuncio quedando en ese estado el expediente.* Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-JCAD-EXPDENTM, 006130.

Archivo Nacional. (1904a). *Expediente de Jerónimo Ulloa Jiménez y otros denuncian una mina de oro y mercurio en el lugar llamado Las Caidas a orillas del río Reventado en el Carmen de Cartago. Quienes lo ceden.* Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-EXPJU, 006711.

Archivo Nacional. (1904). *Expediente de denuncio de una mina de oro y mercurio en el lugar llamado Las Caídas a orillas del río Reventado Carmen de Cartago. Lo ceden.* Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-EXPJU, 006711.

Archivo Nacional. (1904b). *Expediente de cesionario de un denuncio de una mina de oro y mercurio en el lugar llamado Las Caídas a orillas del río Reventado, Carmen de Cartago. Establecido por Alfredo Volio Jiménez.* Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-EXPJU, 006711.

Archivo Nacional. (1904c). *Denuncio de una mina de oro y mercurio en el lugar llamado Las Caídas a orillas del Reventado. Carmen de Cartago. Hecho por Nicolás Lizano Rojas, Jerónimo Ulloa Jiménez y Tranquilino Picado Calderón, quienes cedieron una tercera parte cada uno a Alfredo Volio Jiménez. Admitido y publicado el denuncio.* Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-EXPJU, 006711.

Archivo Nacional. (1904d). *Expediente de denuncia de una mina de oro y mercurio en el lugar llamado Las Caidas del río Reventado en el Carmen de Cartago, lo ceden Tranquilino Picado Calderón y otros.* Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-EXPJU, 006711.

- Archivo Nacional. (1904e). *Denuncio de una mina de oro, plata y mercurio, y sus continuaciones, situada en Oricuajo, San Mateo, Alajuela. Hecho por Ricardo Güell Gutiérrez y su esposa Julia Yglesias Centeno e hijos, en julio de 1904. Este expediente fue pedido a los Archivos en virtud de auto de la 1 y ¼ p.m. del 24 de Octubre de 1908, y remitido al Juez de lo Contencioso Administrativo según recibo Número 3.000.* Provincia de Alajuela. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-JCAD-EXPDM, 006542.
- Archivo Nacional. (1907a). *Denuncio de una mina de azogue, en la quebrada del Salitral de Santiago, Puriscal. Hecho por Maximino Vargas Paniagua y Francisco Carrillo Gamboa. Inconcluso.* Provincia de San José. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-J1CADSJ, 001199.
- Archivo Nacional. (1907b). *Expediente de denuncia de una mina de azogue en la quebrada del Salitral de Santiago, Puriscal. Hecho por Maximino Vargas Paniagua y Francisco Carrillo Gamboa.* Provincia de San José. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-J1CADSJ, 001199.
- Archivo Nacional. (1907c). *Denuncio de las continuaciones de una mina de cinabrio azogue, en Santiago, Puriscal. Hecho por Francisco Calderón Muñoz y Gregorio Soto Quirós. Inconcluso.* Provincia de San José. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-J1CADSJ, 000479.
- Archivo Nacional. (1907d). *Expediente de las continuaciones del denuncia de una mina de cinabrio o azogue situada en Santiago de Puriscal, hecho por Gregorio Soto Quirós y Francisco Calderón Muñoz.* Provincia de San José. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-J1CADSJ, 000479.
- Archivo Nacional. (1908a). *Denuncio de 3 vetas de azogue y una de porcelana, en el Rosario de Desamparados las dos primaveras de azoque y la última en Corralillo de Cartago, y la de porcelana, no se indica su situación. Hecho por Samuel Carlos Phillips y Strongman, Bruno Abarca García y otros. Inconcluso.* Provincia de San José. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-J1CADSJ, 001001.
- Archivo Nacional. (1908b). *Expediente de denuncia de tres vetas de azogue y una de porcelana, en el Rosario de Desamparados las dos primeras de azogue y la última en Corralillo de Cartago, y la de porcelana, no se indica su situación. Hecho por Bruno Abarca García y otros.* Provincia de San José. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-J1CADSJ, 001001.
- Archivo Nacional. (1908c). *Expediente de denuncia de 3 vetas de azogue y una de poscelana en el Rosario de Desamparados las 2 primeras de azogue y la última en Corralillo de Cartago y la de porcelana no se indica su situación, hecho por Samuel Carlos Phillips Strongman y otros.* Provincia de San José. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-J1CADSJ, 001001.

- Archivo Nacional. (1908d). *Expediente de denuncia de las continuaciones de tres vetas de azogue y una de porcelana, en San Juan de Tobosí y Corralillo de Cartago y el Rosario de Desamparados. Hecho por Elisa González de Mena y otras.* Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-EXPJU, 001000.
- Archivo Nacional. (1908e). *Expediente del juicio denuncia de las continuaciones de 3 vetas de azogue y 1 de porcelana en San Juan de Tobosí y Corralillo de Cartago y en el Rosario de Desamparados hecho por Ana Florencia Phillips y otras.* Provincia de Cartago. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-EXPJU, 001000.
- Archivo Nacional. (1908f). *Denuncia de una mina de oro y plata y mercurio y sus continuaciones sitas en Oricuayo. San Mateo-Alajuela. Hecho por Ricardo Güell Gutiérrez y su esposa Julia Iglesias Centeno e hijos. Este expediente fue pedido a los Archivos en virtud de auto de la 1 y 14 p.m. del 24 de octubre de 1908 y remitiendo al Juez de lo Contencioso Administrativo según recibo n° 3000.* Provincia de Alajuela. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-JCAD-EXPDMT, 006542.
- Archivo Nacional. (1913). *Expediente de la causa contra Demetrio Zamudio Rivera por hurto de mercurio cometido en perjuicio de la Compañía Minera de Abangares Gold Fields of Costa Rica. Condenado.* Provincia de Guanacaste. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-EXPJU, 000955.
- Archivo Nacional. (1914). *Expediente de causa contra Jesús Torres Araya y Gregorio Miranda Carvajal por hurto de mercurio cometido en perjuicio de la Compañía Abangares Gold Fields of Costa Rica. Condenado Torres Araya como autor y Miranda como encubridor.* Provincia de Guanacaste. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CSJ-EXPJU, 000875.
- Archivo Nacional. (1966). *Expediente de apelación, licitación número 1-66, Municipalidad de Desamparados: lámparas de mercurio.* Provincia de San José. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-CGR-DEPLIC, 001265)
- Archivo Nacional. (1968a). *Correspondencia del Concejo Municipal con el Instituto Nacional de Electricidad relacionado con concesión para obtener agua de enfriamiento para los motores de planta colima, asesoramiento técnico para la solución del problema de agua, solicitud de energía eléctrica del alumbrado público fluorescente para el lado norte de la avenida central de Guadalupe, solicitud de instalación de un teléfono público, mejoramiento, extensión y operación de los servicios de comunicaciones telefónicas telegráficas radiotelegráficas y radiotelefónicas, instalación de un teléfono público, instalación de cabinas para teléfonos públicos, uso inadecuado de lámparas de mercurio para la iluminación de las vías públicas y precio de lámparas de alumbrado público.* Provincia de San José. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-MU-MUNIGOICO, 034674.

- Archivo Nacional. (1968b). *Correspondencia del Concejo Municipal con la Compañía Nacional de Fuerza y Luz relacionado con suministro de servicios de alumbrado público, extensión de líneas eléctricas en el Barrio Río Abajo de Guadalupe, mantenimiento de alumbrado público, cuentas por servicios y solicitud de incluir lámparas de mercurio y fluorescentes*. Provincia de San José. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-MU-MUNIGOICO, 034683.
- Archivo Nacional. (1971). *Correspondencia del Concejo Municipal con Juntas Progresistas y Asociaciones de Desarrollo relacionada con asfaltado de calles, solicitud de Liceo Napoleón Quesada Salazar a las Juntas Progresistas de aportar ideas al Plan Regulador del Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo, solicitud de información acerca de la no instalación de lámparas de mercurio en Calle Blancos*. Provincia de San José. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-MU-MUNIGOICO, 035677.
- Archivo Nacional. (1972). *Expediente de la apelación de la licitación de la compra de lámparas de mercurio para la Municipalidad de Goicoechea*. Provincia de San José. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-AL-CGR-DEPLIC, 001288.
- Archivo Nacional. (1973). *Correspondencia del Concejo Municipal con Asociaciones de Desarrollo relacionada con Proyecto Construcción de Servicios Sanitarios por Entubamiento de Aguas Negras, nombramiento de Juntas Directivas, posibilidad de que se continúe el edificio del Centro Cívico para que sea usado por la Sociedad de los Alcohólicos Anónimos, mejoras en la Escuela José Cubero, asfaltado de calles, partida específica existente para la realización de la cancha de deportes de Purral, acuerdo del Concejo Municipal autorizando la conexión de dos pajas de agua en dos casas construidas en terreno municipal en lotes Tenorio, instalación de lámparas de mercurio, alumbrado público*. Provincia de San José. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-MU-MUNIGOICO, 035679.
- Archivo Nacional. (1978). *Denuncio minero presentado por Ramón Rodrigo Fallas Camacho y Domingo Ugalde Alvarado, de yacimiento de mercurio en Liberia, Guanacaste. Tiene plano*. Provincia de Guanacaste. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-MEIC-DEPREGMI-EXPLMI, 000649.
- Archivo Nacional (1824b). *Carta de Ricardo Trevithick al Intendente Juan Mora, fechada en el Ingenio de Britania. Se refiere a unas botellas de azogue cuyo peso difiere del que había resultado en Lima*. Código y signatura del Archivo: CR-AN-AH-PI, 001038.
- Bank, M., Vignati, D., & Vigon, B. (2014). United Nations Environment Programme's Global Mercury Partnership: Science for successful implementation of the Minamata Convention. *Environmental toxicology and chemistry*, 33(6), 1199-1201.
- Benavides, W. & Salas, J. (2015). Evaluación preliminar. Tratamiento del mercurio de fluorescentes y bombillas del alumbrado público. *Revista Tecnología en Marcha*, 28(4), 78-85.

- Bing, H., Wu, Y., Sun, Z., & Yao, S. (2011). Historical trends of heavy metal contamination and their sources in lacustrine sediment from Xijiu Lake, Taihu Lake Catchment, China. *Journal of Environmental Sciences*, 23(10), 1671-1678.
- Burkett, P. (2008). La comprensión de los problemas ambientales actuales vistos con el enfoque marxista. *Argumentos (México, DF)*, 21(56), 21-32.
- Calleja, C. & Ramírez, E. (2014). Interpretación del contenido de mercurio en muestras nacionales de pez vela (*Istiophorus platypterus*) y marlin (*Makaira* spp. o *Tetrapturus* spp.) a partir de parámetros toxicológicos internacionales. *Revista de Ciencias Ambientales*, 47(1), 44-59.
- Castillo, A. (2006). Industria minera y coligallerismo en Abangares: un análisis desde la perspectiva histórica. *Revista Herencia*, 19(1), 33-58.
- Chacón, Y., Yáñez, J., Gómez, H., Marín, G., & Suárez, F. (2016). *Evaluación de los Niveles de Mercurio en Productos Pesqueros en Costa Rica, Durante 2003-2013, como insumo para recomendar una ingesta semanal tolerable*. *Revista Costarricense de Salud Pública*, 25(1), 18-32.
- Chapman, E., Moore, C., & Campbell, L. (2019). Native Plants for Revegetation of Mercury-and Arsenic-Contaminated Historical Mining Waste—Can a Low-Dose Selenium Additive Improve Seedling Growth and Decrease Contaminant Bioaccumulation? *Water, Air, & Soil Pollution*, 230(9), 225.
- Chen, L., Zhang, W., Zhang, Y., Tong, Y., Liu, M., Wang, H., Xie, H. & Wang, X. (2018). Historical and future trends in global source-receptor relationships of mercury. *Science of The Total Environment*, 610, 24-31.
- Clarkson, T. W., & Magos, L. (2006). *The Toxicology of Mercury and Its Chemical Compounds*. *Critical Reviews in Toxicology*, 36(8), 609–662.
- Corella, J., Valero, B., Wang, F., Martínez, A., Cuevas, C, & Saiz, A. (2017). 700 years reconstruction of mercury and lead atmospheric deposition in the Pyrenees (NE Spain). *Atmospheric Environment*, 155, 97-107.
- Cuellar, L., Quintanilla, M., & Blancafort, M. (2010). La importancia de la historia de la química en la enseñanza escolar: análisis del pensamiento y elaboración de material didáctico de profesores en formación. *Ciência & Educação (Bauru)*, 16(2), 277-291.
- Dirección General de Estadística y Censos. (1950). *Población total urbana y rural, según sexo, por provincias, cantones y distritos de la República de Costa Rica: 1950*. Recuperado de: <https://ccp.ucr.ac.cr/bvp/censos/1950/pdf/cuadro01-50.pdf>
- Evers, D., Keane, S., Basu, N. & Buck, D. (2016). *Evaluating the effectiveness of the Minamata Convention on Mercury: Principles and recommendations for next steps*. *Science of the Total Environment*, 569, 888-903.

- Faro, L., Barbosa, R., & Pallares, M. (Eds.). (2010). *El mercurio como contaminante ambiental y agente neurotóxico*. Servizo de Publicacións da Universidade de Virgo.
- Fernández, A., Herrera, J., & Sibaja, J. (2017). Perfil nacional de uso de mercurio en Costa Rica a la luz de la entrada en vigor del Convenio de Minamata. *Revista de Ciencias Ambientales*, 51(2), 145-168.
- Fernández Villalobos, N. V. (2017). *Estudio exploratorio sobre la exposición al mercurio que poseen las personas trabajadoras de la minería artesanal de oro y sus familias, en una cooperativa de Las Juntas de Abangares, Guanacaste, Costa Rica, durante el periodo 2015-2016*. Tesis de Licenciatura. Escuela de Tecnologías en Salud, Facultad de Medicina, Universidad de Costa Rica
- Fleming, S., Furness, R., & Davies, I. (2000). Contemporary patterns and historical rates of increase of mercury contamination in different marine food chains. In *ICES Annual Science Conference, Bruges*.
- Forsythe, K. W., & Marvin, C. H. (2009). Assessing historical versus contemporary mercury and lead contamination in Lake Huron sediments. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 12(1), 101-109.
- Fox, W., Connor, L., Copplestone, D., Johnson, M. & Leah, R. (2001). The organochlorine contamination history of the Mersey estuary, UK, revealed by analysis of sediment cores from salt marshes. *Marine environmental research*, 51(3), 213-227.
- García, J., Tortajada, J., Andreu, J., Macián, A., Castell, J., Conesa, C., Martín, E., Molina, F. & Ortega, D. (2003). Hospitales Sostenibles (II). Mercurio: exposición pediátrica. Efectos adversos en la salud humana y medidas preventivas. *Revista Española de Pediatría*, 59(3), 274-291.
- García Gómez, M., & Castañeda López, R. (2006). Enfermedades profesionales declaradas en hombres y mujeres en España en 2004. *Revista española de salud pública*, 80, 361-375.
- Gallini, S. (2005). Invitación a la historia ambiental. *Tareas*, (120), 5-27. Centro de Estudios Latinoamericanos “Justo Arosemena”, Panamá.
- Guzmán, H. & Garcia, E. (2002). Mercury levels in coral reefs along the Caribbean coast of Central America. *Marine Pollution Bulletin*, 44(12), 1415-1420.
- Harada, M. (1978). Congenital Minamata disease: intrauterine methylmercury poisoning. *Teratology*, 18(2), 285-288.
- Higuera Reyes, J. C. (2017). *Compromisos de Colombia con el convenio de Minamata* Tesis de Bachillerato, Fundación Universidad de América. Bogotá Colombia. URL: <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7036>

- Idrobo, J. P. M., & Casas, A. F. (2014). Evolución de los conceptos y paradigmas que orientan la gestión ambiental ¿cuáles son sus limitaciones desde lo glocal? *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 13(24), 13-27
- Juárez, H. (2006). Contaminación del río Rímac por metales pesados y efecto en la agricultura en el cono este de Lima metropolitana. *Universidad Agraria La Molina*. Lima-Perú, 88.
- Juracek, K. (2008). Sediment storage and severity of contamination in a shallow reservoir affected by historical lead and zinc mining. *Environmental geology*, 54(7), 1447-1463.
- Kang, S., Huang, J., Wang, F., Zhang, Q., Zhang, Y., Li, C., Wang, L., Chen, P., Sharma, C., Li, Q., Sillanpää, M., Hou, J., Xu, B. & Guo, J. (2016). Atmospheric mercury depositional chronology reconstructed from lake sediments and ice core in the Himalayas and Tibetan Plateau. *Environmental science & technology*, 50(6), 2859-2869
- Kelly, T., Jones, J., & Smith, G. (1975). Historical changes in mercury contamination in Michigan walleyes (*Stizostedion vitreum vitreum*). *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 32(10), 1745-1754.
- Kobal, A., Tratnik, J., Mazej, D., Fajon, V., Gibičar, D., Miklavčič, A., Kocman, D., Kotnik, J., Sešek, A., Oseredak, J., Kršnik, M., Perezelj, M., Knap, C., Križaj, B., Liang, L. & Horvat, M. (2017). Exposure to mercury in susceptible population groups living in the former mercury mining town of Idrija, Slovenia. *Environmental research*, 152, 434-445.
- Kussmaul, S. (2007). Publicaciones de principios del siglo XX sobre las minas de oro en Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, (36), 115-123.
- Liang, S., Wang, Y., Cinnirella, S., & Pirrone, N. (2015). Atmospheric mercury footprints of nations. *Environmental science & technology*, 49(6), 3566-3574.
- López, M. & Martínez, M. (2018). El mercurio: sus fuentes de emisión, usos e impactos. *El mercurio*, 1-167.
- Martínez, J. & Figueroa, A. (2014). Evolución de los conceptos y paradigmas que orientan la gestión ambiental ¿cuáles son sus limitaciones desde lo glocal? *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 13(24), 13-27.
- Martínez, J., Iglesias Durruthy, M., Pérez Martínez, A., Curbeira Hernández, E., & Sánchez Barrera, O. (2014). Salud ambiental, evolución histórica conceptual y principales áreas básicas. *Revista Cubana de Salud Pública*, 40(4), 403-411.

- Muñoz Abril, L. J. (2016). *Ecología trófica, diversidad genética y contaminación por mercurio del atún aleta amarilla (Thunnus albacares) en la Reserva Marina de Galápagos y el continente ecuatoriano* (Bachelor's thesis, Quito: USFQ, 2016).
- Newman, J., Zillioux, E., Rich, E., Liang, L., & Newman, C. (2004). Historical and other patterns of monomethyl and inorganic mercury in the Florida panther (*Puma concolor coryi*). *Archives of environmental contamination and toxicology*, 48(1), 75-80.
- Nriagu, J. O. (1994). Mercury pollution from the past mining of gold and silver in the Americas. *Science of the Total Environment*, 149(3), 167-181.
- Núñez, J., Corrales, J., Campos, J., Silva, V., & Alpizar, H. (2013). Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro. *Tecnología en Marcha*, 26(1), 27-36.
- ONU (Organización de las Naciones Unidas). (2019). *Convenio de Minamata sobre el Mercurio. Textos y Anexos*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Recuperado de: <http://www.mercuryconvention.org/Portals/11/documents/Booklets/COP3-version/Minamata-Convention-booklet-Sep2019-SP.pdf>
- Osores, F., Rojas, J., & Lara, C. (2012). Minería informal e ilegal y contaminación con mercurio en Madre de Dios: Un problema de salud pública. *Acta medica peruana*, 29(1), 38-42.
- Pirrone, N., Cinnirella, S., Feng, X., Finkelman, R. B., Friedli, H., Leaner, J., Manson, R., Mukherjee, A., Stracher, G., Streets, D. & Telmer, K. (2010). Global mercury emissions to the atmosphere from anthropogenic and natural sources. *Atmospheric Chemistry & Physics*, 10(13).
- Ramírez, A. V. (2008, March). Intoxicación ocupacional por mercurio. In *Anales de la Facultad de Medicina* (Vol. 69, No. 1, pp. 46-51). UNMSM. Facultad de Medicina.
- Rubio, B., Gago, L., Villas, F., Castaño, M., Gil, S., Flores, I., & Pazos, O. (1996). Interpretación de tendencias históricas de contaminación por metales pesados en testigos de sedimentos de la Ría de Pontevedra. *Thalassas: An international journal of marine sciences*, 12(1), 137-152.
- Sandoval, M. (2012). Comportamiento sustentable y educación ambiental: una visión desde las prácticas culturales. *Artículos en PDF disponibles desde 2007 hasta 2013. A partir de 2014 visítanos en www.elsevier.es/rlp*, 44(1), 181-196.
- Santschi, P., Presley, B., Wade, T., Garcia-Romero, B. & Baskaran, M. (2001). Historical contamination of PAHs, PCBs, DDTs, and heavy metals in Mississippi river Delta, Galveston bay and Tampa bay sediment cores. *Marine Environmental Research*, 52(1), 51-79.

- Santa María, L. (2017). Taki Onqoy: epidemia de intoxicación por exposición al mercurio en Huamanga del siglo XVI. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 34, 337-342.
- Sivey, J. & Lee, C. M. (2007). Polychlorinated biphenyl contamination trends in Lake Hartwell, South Carolina (USA): Sediment recovery profiles spanning two decades. *Chemosphere*, 66(10), 1821-1828.
- Steckling, N., Tobollik, M., Plass, D., Hornberg, C., Ericson, B., Fuller, R., & Bose-O'Reilly, S. (2017). Global burden of disease of mercury used in artisanal small-scale gold mining. *Annals of global health*, 83(2), 234-247.
- Vargas, C., & Estupiñán, R. (2012). Estrategias para la educación ambiental con escolares pobladores del páramo Rabanal (Boyacá). *Revista luna azul*, (34), 10-25.
- Vargas, J. (2008). A 160 años de la fundación de la Republica de Costa Rica: sus primeras monedas de oro (1850-1864). *Revista Herencia*, 21(1), 89-120.
- Vorobiova, M. I., Degteva, M. O., Burmistrov, D. S., Safronova, N. G., Kozheurov, V. P., Anspaugh, L. R., & Napier, B. A. (1999). Review of historical monitoring data on Techa River contamination. *Health physics*, 76(6), 605-618.
- Wang, L., Jia, H., Liu, X., Sun, Y., Yang, M., Hong, W. & Li, F. (2013). Historical contamination and ecological risk of organochlorine pesticides in sediment core in northeastern Chinese river. *Ecotoxicology and environmental safety*, 93, 112-120.
- Wilson, S., Munthe, J., Sundseth, K., Maxson, P., Kindbom, K., Pacyna, J., & Steenhuisen, F. (2010). Updating Historical Global Inventories of Anthropogenic Mercury Emissions to Air. AMAP Technical Report No. 3 (2010). *Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP)*.
- Yang, H. (2010). Historical mercury contamination in sediments and catchment soils of Diss Mere, UK. *Environmental pollution*, 158(7), 2504-2510.
- Yacuzzi, E. (2008). *Chisso Corporation y la enfermedad de Minamata* (No. 391). Serie Documentos de Trabajo. Universidad del CEMA, Buenos Aires, Argentina.

# ANEXOS

## ANEXO 1: Machote de Entrevistas a geólogos del país.

### ENTREVISTA: YACIMIENTOS DE MERCURIO EN COSTA RICA

Nombre \_\_\_\_\_ completo:

Profesión y título: \_\_\_\_\_

Preguntas:

Actualmente deseo conocer la presencia histórica del mercurio o minerales de mercurio ¿En Costa Rica se han identificado regiones donde haya mercurio o minerales que contengan mercurio (como cinabrio) que pudieran haber sido de interés para explotación? Si no, ¿qué más se conoce al respecto de estos minerales?

¿Históricamente hay evidencia de que algo se explotó o hubo importaciones?

¿Usted tiene conocimiento de que en el pasado se haya hecho manejo de estos minerales?

¿Conoce históricamente de denuncias de su intento de explotación?

¿Legalmente que se conoce de la legislación de explotación de mercurio en el país? ¿Cuáles consideraciones se tenían?

## **ANEXO 2: Entrevistas transcritas a cada profesional.**

### **Entrevista 1**

**Nombre completo:** Rolando Castillo Muñoz

**Profesión y título:** Agrónomo, Geólogo, Fisicoquímico, especializado en química aplicada. Graduado de Ingeniero agrónomo en UCR, post grado en Geología en Universidad de Standford y obtuvo el doctorado en Londres.

#### **Preguntas:**

***¿En Costa Rica se han identificado regiones donde haya mercurio o minerales que contengan mercurio (como cinabrio) que pudieran hacer sido de interés para explotación?***

No, para interés de explotación no se han ubicado este tipo de minerales. Ellos son minerales que suceden generalmente en zonas donde ha ocurrido vulcanismo, donde ha ocurrido actividad hidrotermal magmática. En esos ambientes se forma sulfuro de mercurio, pero no en cantidades comerciales. Se encuentra en cantidades “normales” de existencia en estos ambientes volcánicos junto con otros tipos de minerales como otros tipos de sulfuros como lo son la piritita y otros tipos de minerales a base de azufre que suceden generalmente en esos ambientes de tipo volcánico.

Estos ambientes de tipo volcánico ocurren en gran parte de nuestro territorio nacional. Han existido varios tipos de vulcanismo. Existe un vulcanismo muy antiguo que se desarrolla desde el Paleoceno, evidenciado en materiales de esta antigüedad en la base de la cordillera de Talamanca. El mayor desarrollo del vulcanismo en el país se da durante el Neógeno que cubre gran parte de la Cordillera de Talamanca, La Cordillera de Tilarán, Los Montes del Aguacate, partes de la zona sur de San José, zona sur del Valle Central, Valle del General, Valle del Coto Brus; es decir, es un vulcanismo antiguo del Neógeno principalmente, que cubre gran parte del territorio nacional. Luego existe un vulcanismo más joven, que es el Vulcanismo Cuaternario que fue el responsable de formar todas las Cordilleras más recientes de Costa Rica, como son la: Cordillera de Guanacaste y la Cordillera Volcánica Central. Estos han sido los dos principales grandes vulcanismos que hubo en Costa Rica y que han originado mineralizaciones de sulfuros que cuenta dentro de esos minerales el cinabrio.

Actualmente se están realizando análisis químicos sobre la presencia del mercurio en rocas del país. Parte de este estudio se está realizando en arenas de los ríos. Los sedimentos fluviales son derivados de las rocas. Con esta investigación incompleta hasta el momento, cuento con un mapa de mercurio basado en estos sedimentos fluviales. Entonces se ha definido, de momento, un área de mayor concentración de mercurio en arenas de ríos: Las juntas de Abangares y del lado de Miramar. En esta zona ha existido explotación desde fines del siglo XIX y en el siglo XX también una gran explotación, por lo menos, hasta la mitad. Y después han seguido existiendo minería artesanal. Entonces ahí, como se encuentran continuamente trabajando, hay una mayor concentración de mercurio de los ríos. Otra zona que presenta valores en los ríos es la zona de Crucitas, sin embargo, no tanto como en la zona de Abangares.

Yo diría que la concentración de mercurio en ambos lugares es de mercurio acumulado. No es un mercurio geogénico, natural, es un mercurio antropogénico que está ocasionando la actividad minera. Sin embargo, a nivel de “anomalía geoquímica” que significa una concentración muy alta, de momento pareciera que solo se encuentra en la zona de Abangares y un poco en Miramar, la parte alta de la Cordillera de Miramar. Pero como le comento es un análisis que se está realizando actualmente. No se tienen el total de muestras procesadas y aún falta el análisis estadístico. Existen otras zonas donde aparecen patrones de mercurio un poco altas en la Cordillera de Talamanca, en la zona de Chirripó. Sería recomendable un análisis de agua para una verificación de cuál es la concentración de mercurio que puedan llevar estas especialmente por un tema de salud humana.

Cabe mencionar que en estas cúspides de la Cordillera de Talamanca donde hubo mucho vulcanismo antiguo, además de que en estas zonas donde el mercurio está más alto hay mineralizaciones auríferas y está en relación con este vulcanismo antiguo que aparece en la cordillera de Talamanca y aparecen patrones de mercurio altas y parece que ahí sí está más en relación con mineralización del ambiente y no tanto de influencia antropogénica. Se conoce que existen minerales pero no se han explotado

***¿Históricamente hay evidencia de que algo se explotó o hubo importaciones? ¿Conoce históricamente de denuncias de su intento de explotación?***

Bueno actualmente el Organismo de Investigación Judicial tiene evidencia, hablando en relación con Crucitas, de que han estado trayendo mercurio de otros lados como San José y

Nicaragua. La gente de la zona habla sobre la obtención de mercurio en Nicaragua y que parte del oro extraído se va para allá. Y luego comenzó a haber interés dentro del país que también comenzó a llevar mercurio a esta zona de Crucitas. En esta zona se sabe que ha habido gran cantidad de extranjeros nicaragüenses que se han encargado de la extracción de oro. Ahí ha existido un gran mercado para el mercurio. Y esto ha existido desde hace muchos años, porque también en la península de Osa en el pasado se utilizaba mercurio. Sin embargo, como le comentaba, en Osa no aparecen valores altos de detección de mercurio en los sedimentos fluviales ya que, si en este lugar está sucediendo algo, es algo muy pequeño que no se refleja. En las zonas que se refleja es en las zonas donde más explotación ha habido con mercurio y se conoce que sigue existiendo.

**¿Legalmente que se conoce de la legislación de explotación de mercurio en el país?**

**¿Cuáles consideraciones se tenían?**

Existe la ley y el código de minería. Desde el tiempo de la colonia existía el código de minería de España, se llamaba la ley de Indias. En 1953 se aprobó el primer código de minería y se fundo el departamento de Biología, Minas y Petróleo. Actualmente ese departamento se llama Dirección de Geología y Minas que pertenece al Ministerio de Ambiente y Energía. En 1983 se formó otra vez el código de Minería, además es un reglamento y yo participe en eso. Se tiene muy bien establecido desde hace muchos años lo que se refiere a la explotación de minerales metálicos y no metálicos o industriales, que son las calderas por ejemplo calderas de calizas a estos se les llama minerales no metálicos.

Sin embargo, esto no es específico de ningún mineral.

## **Entrevista 2**

**Nombre completo:** Eduardo Rojas Solano

**Profesión y título:** Geólogo de proyectos con experiencia en proyectos de exploración minera, así como en estudios geológico-geotécnicos principalmente para proyectos hidroeléctricos; en países como: Costa Rica, El Salvador, Guatemala, México, y Ecuador.

### **Preguntas:**

***¿En Costa Rica se han identificado regiones donde haya mercurio o minerales que contengan mercurio (como cinabrio) que pudieran haber sido de interés para explotación?***

Hasta donde tengo conocimiento no existen regiones con concentraciones importantes de minerales con mercurio en el país; sin embargo, por el tipo de origen de minerales que puedan tener mercurio, cabe la posibilidad de que existan algunas zonas con al menos trazas de minerales con dicho elemento, lo cual me sugiere que no sería explotable, desde el punto de vista de rentabilidad por las bajas concentraciones. Pero no tengo conocimiento de análisis químicos que indiquen concentraciones de dicho elemento en rocas en el país.

***¿Históricamente hay evidencia de que algo se explotó o hubo importaciones?***

Revisando la información a la que tuve acceso, no existe ningún reporte que indique sobre explotaciones o importaciones de minerales con mercurio en el país.

***¿Conoce históricamente de denuncias de su intento de explotación?***

En ninguna medida conozco sobre denuncias de intento de explotación.

***¿Legalmente que se conoce de la legislación de explotación de mercurio en el país?***

***¿Cuáles consideraciones se tenían?***

La legislación vigente no diferencia en ninguna medida la explotación de yacimientos de mercurio en el país, por lo que no existe nada en lo que a esto se refiere.

### **Entrevista 3**

*Nombre completo:* Guillermo Alvarado Induni

*Profesión y título:* Geólogo, profesor de la Universidad de Costa Rica

*Preguntas:*

*¿En Costa Rica se han identificado regiones donde haya mercurio o minerales que contengan mercurio (como cinabrio) que pudieran hacer sido de interés para explotación?*

Según mis conocimientos, no ha sido de interés para explotación por qué no hay hallazgos comerciales. Lo que se ha encontrado son anomalías de mercurio en algunos suelos, pero estas anomalías son a nivel de trazas, es decir, de poca cantidad. Por ejemplo, en el volcán Rincón de la Vieja hay un trabajo realizado a nivel internacional, donde habla de anomalías de mercurio y las asocia con la tectónica rocal. En algunos casos se han encontrado rocas o suelos bastantes rojizos y se ha llegado a pensar que podría ser cinabrio, sin embargo, a la hora de hacer los análisis se llega a la conclusión de que son óxidos de hierro de tipo amatita. Tiende a confundirse fácilmente.

*¿Históricamente hay evidencia de que algo se explotó o hubo importaciones?*

Importación de cinabrio, que yo tenga conocimiento no, porque requeriría procesamiento. De mercurio sí ha existido importación para diferentes usos. El mercurio es un elemento que se usa y antes se utilizaban mucho más en termómetros y barómetros.

*¿Legalmente que se conoce de la legislación de explotación de mercurio en el país?*

*¿Cuáles consideraciones se tenían?*

Existe de explotación mineral en general. Sí existe para esto toda una legislación minera que se le han hecho varias reformas. Sí se necesitan respectivos permisos, sin embargo, todavía se infringe mucho en todo en esto. A nivel país especialmente la parte artesanal es la que más incumple y ya desde varios gobiernos atrás, los coligalleros siguen practicando ilegalidades y aún no se logra tener control sobre esto.

#### **Entrevista 4**

***Nombre completo:*** Mario Gomez Venegas

***Profesión y título:*** Jefe del departamento de control minero de la Dirección de Geología y Minas del MINAE.

#### ***Preguntas:***

***¿En Costa Rica se han identificado regiones donde haya mercurio o minerales que contengan mercurio (como cinabrio) que pudieran haber sido de interés para explotación?***

Principalmente lo que se ha buscado con el uso del mercurio es la amalgamación de los metales existentes en la roca, es el principio básico del uso de mercurio y es un metal relativamente barato.

En Costa Rica no hay evidencias de existencia de cinabrio. No se podría descartar en la parte de la cordillera de Talamanca. Ya que existe mucha investigación al respecto, pero hasta el momento no hay resultados ni existencia del metal.

Existe mercurio en la naturaleza que tienden a hacer de distintas cantidades y no son peligrosas. Además, se puede encontrar en distintos materiales de la corteza terrestre. Es muy puntual el llegar a encontrar en sedimentos el mercurio. Sí uno realiza una comparación entre los distintos lugares y tamaños de áreas y las concentraciones de mercurio encontradas se puede dar cuenta que son relativamente bajas.

***¿Históricamente hay evidencia de que algo se explotó o hubo importaciones?***

De cinabrio se desconoce algún tipo de importación. Pero del mercurio sí. Uno de los yacimientos más grandes de mercurio se encuentra en México y muy posiblemente que todo el trasiego de todo el mercurio que se encuentra en esta zona de Centroamérica y tal vez parte de Suramérica, muy posiblemente venga de México

Recuerdo una historia, de los años de 1960 en la zona de Miramar, unas gentes del lugar hablaban del hallazgo de mercurio, sin embargo, habían pasado ya 70 – 80 años de actividad minera, entonces muy posiblemente esto halla correspondido a alguna actividad anterior y a algunos residuos que hayan quedado en el lugar.

***¿Usted tiene conocimiento de que en el pasado se haya hecho manejo de estos minerales?***

El mercurio se ha utilizado dentro del país en luminarias, termómetros y en equipos de hospitales. Todos estos equipos e instrumentos, a través de la Dirección de Gestión de Calidad Ambiental se han realizado esfuerzos para su eliminación.

*¿Conoce históricamente de denuncias de su intento de explotación?*

No, no tenía conocimiento de denuncias.

*¿Legalmente que se conoce de la legislación de explotación de mercurio en el país?*

*¿Cuáles consideraciones se tenían?*

El código de minería (ley 6797) está vigente desde 1982 es el que actualmente rige para todas las actividades mineras. Y se habla de minería metálica y minería no metálica. A este código se le hace una modificación en el 2001 y luego se hace otra modificación en el 2010 que se publica en el 2011, relacionada con el artículo 8 que precisamente es relacionada con la moratoria de la minería metálica a cielo abierto que actualmente está vigente.

### **ANEXO 3: Especificación histórica de la reconstrucción histórica del mercurio en Costa Rica por la minería de oro.**

Reconstrucción aproximada del uso de mercurio durante el primer ciclo minero

Araya Pochet (1 976) al mencionar las cantidades de oro extraídas en Costa Rica en el primer ciclo minero (1830 a 1840 principalmente), toma en cuenta los dos diferentes tipos de comercialización: interna y externa. Por la parte externa, se menciona los montos de las exportaciones de oro y plata en 1 833 y 1 836 (Cuadro 11). Siendo esta suma, alrededor de la mitad del dinero generado ganado en exportaciones por parte del país en esos años (Araya Pochet, 1 976). Sin embargo, esos datos históricos son de origen británico y en Costa Rica no se encuentran archivos que evidencien esas sumas de dinero relacionadas con la minería. Araya Pochet (1 976) resuelve y encuentra evidencia que el oro y la plata se exportaban del país “ya fuera con autorización aduanal o sin ella”. Con esto Araya concluye que la comercialización externa del oro fue importante para el país, sin embargo, no se puede verificar con exactitud el monto de estas. El autor menciona que la ruta para las exportaciones de metales siempre fue por la región Atlántica y esto fue un factor fundamental que facilitó los negocios ilícitos y no se logra cifras oficiales del monto real, debido a una “ausencia de obras de infraestructura que permitieran un adecuado control estatal” (Araya Pochet 1 976).

Cuadro 11. Exportaciones Costarricenses a Inglaterra (en pesos)

Producto	Monto en 1833	Monto en 1836
Oro y Plata	₡300 000	₡300 000

Fuente: Araya Pochet 1976

Con lo que respecta a la comercialización interna del primer ciclo minero, lo más significativo fue la acuñación de las monedas nacionales (Araya Pochet 1 976). Las acuñaciones se realizaron desde 1 824, sin embargo, solo se logró encontrar información a partir de 1 829 (Cuadro 12), ya que al parecer antes de ese año no existen datos registrados.

Cuadro 12. Acuñación de Metales Preciosos (en pesos) de 1829 a 1843.

<b>Año</b>	<b>Oro</b>	<b>Plata</b>
1829	3 100	
1830	38 666	
1831	44 860	661
1832	35 626	
1833	24 480	
1834	26 633	
1835	25 736	
1836	17 238	621
1837	21 808	
1838	19 720	
1839	13 704	
1840	44 372	1 000
1841	34 974	2 733
1842	24 495	2 246
1843	20 968	2 045
<b>TOTAL</b>	<b>396 470</b>	<b>9 306</b>

Fuente: Araya Pochet 1976

La acuñación de la moneda se realizó con la materia prima extraída de los Montes del Aguacate y aunque, estas cifras son de una cantidad considerable, solo representan una parte de la producción total del Aguacate (Araya Pochet, 1976).

Se sabe que la Casa de la Moneda (encargada de realizar las acuñaciones) cobraban 16 pesos la onza de oro y 7 pesos la onza de plata y por fuera los comerciantes internacionales daban mayor cantidad de pesos por onza (Araya Pochet 1976). Utilizando este total

Tomando encuentra simplemente las cantidades de oro extraídas por acuñaciones (ya que es la cantidad con la cual se tiene certeza del valor en oro de los pesos mencionados) (las exportaciones, al no ser registradas por el gobierno costarricense, no se saben si se hicieron utilizando un precio del oro más alto o bajo del actual, por lo cual no se sabe la cantidad de oro real y por esto no se utilizan para la reconstrucción) se sabe que fue más de una tonelada de mercurio perdido al ecosistema por parte del primer ciclo minero.

## Reconstrucción aproximada del segundo ciclo minero

Para el segundo ciclo minero mencionado por Araya (1977) (de 1890 a 1930) la actividad minera se orientó solamente al mercado externo, especialmente a los Estados Unidos. Este fenómeno Araya Pochet (1977) lo explica como:

“... la coyuntura económica de finales del siglo XIX y principios del siglo XX en nuestro país en donde la inversión del capital norteamericano logra desplazar con éxito la inversión británica especialmente en las nuevas áreas productivas como lo son el banano y la minería”

Araya Pochet (1977) divide en dos fases la reactivación de la minería de este ciclo minero y por ende las cantidades de oro extraídas. La primera fase se da a inicios de 1880 y llega a su fin finales del siglo XIX. Durante esta primera fase (Cuadro 13) la contribución de la minería al comercio exterior es mínima no llega ni a representar ni el 1% de las exportaciones de ese momento. Sin embargo, cuando comienza el año 1900 se inicia la segunda fase (Cuadro 14), la producción tiene un aumento significativo como consecuencia de importantes consolidaciones de empresas extranjeras, nuevas tecnologías y una vinculación a nivel país al mercado norteamericano (Araya Pochet 1976).

Cuadro 13. Valor en pesos de las exportaciones mineras de oro Primera Fase.

<b>Primera Fase</b>	
<b>Año</b>	<b>Exportaciones en oro y plata (pesos)</b>
1883	25 477
1885	19 188
1887	1 710
1890	18 750
1891	25 136

1892	20 002
1893	48 955
1894	23 500
1895	9 710
1896	12 179

Fuente: Araya Pochet (1977)

Cuadro 14. Valor en pesos de las exportaciones mineras de oro Segunda Fase.

<b>Segunda Fase</b>	
<b>Año</b>	<b>Exportaciones en oro y plata (pesos)</b>
1900	500 852
901	609 328
1902	308 390
1903	490 709
1904	607 293
1905	683 644
1906	1 156 245
1907	1 118 399
1908	1 477 716
1909	1 705 048
1910	1 744 047
1911	2 517 372
1912	1 525 117
1913	1 823 553
1914	1 343 414
1915	1 733 111
1916	2 165 482
1917	2 142 458
1918	1 710 922

1919	1 579 929
1920	2 097 933
1921	1 334 665
1922	1 055 260
1923	1 256 804
1924	2 691 892
1925	2 428 362
1926	2 082 034
1927	1 553 727
1928	1 071 422
1929	289 708
1930	480 396
1931	298 879
1932	232 353

---

Fuente: Araya Pochet (1977)

Vargas (2008) describe que para 1848 que fue cuando el país se declara República Independiente, una onza de oro equivale a 16 pesos y Kussmaul (2007) describe como una onza equivale a 31,103g medidos por una onza troy, la utilizada para metales pesados.

Utilizando la descripción de la valía de la onza de oro y el dato de conversión dado por Nriagu (1994) expresadas en la ecuación [2] del apartado 4.3, se obtiene que en este ciclo minero liberaron al ambiente más de 143 toneladas de mercurio aproximadamente.

En comparación con el primer ciclo minero, este demuestra tener un impacto significativamente mayor. Esto tiene gran sentido gracias a la descripción brindada por Araya Pochet de ambos ciclos. El primero fue completamente rudimentario, con poco conocimiento técnico y con poca tecnología disponible. Mientras que, el segundo ciclo minero, ya contaba con la presencia de ingenieros especializados y por importación de tecnología.

## **ANEXO 4: Informe Ejecutivo de hallazgos históricos sobre el uso y presencia del mercurio en Costa Rica.**

A continuación, en el cuadro 15, se presenta la información obtenida del análisis histórico realizado en Costa Rica. En la columna de *Hallazgos* se encuentra la información más relevante sobre el uso de mercurio encontrado. En la columna de *Resolución* se encuentran las respectivas conclusiones y recomendaciones que se desea hacer a la autoridad pertinente interesada sobre el tema del Ministerio de Ambiente.

En el presente cuadro se espera dar una perspectiva clara y concisa de los hallazgos principales de la reconstrucción histórica de usos y presencia del mercurio en Costa Rica/

Cuadro 15. Resumen de hallazgos y resoluciones de la investigación histórica del mercurio a nivel nacional.

Presencia y usos del mercurio encontrados	Hallazgos	Resolución
1) Intento de minería y la presencia de yacimientos de mercurio	<p>Se encontró evidencia de 57 documentos sobre denuncios de minas de mercurio realizadas a finales del siglo XIX.</p> <p>Se realizaron entrevistas con expertos en el tema de geología en el país para comprobar si existió éxito en alguno de estas menciones a realizarlo.</p>	<p>Costa Rica por ser un país volcánico se muestran trazas de mercurio a lo largo del territorio nacional, especialmente en las zonas cerca de las zonas volcánicas, las cuales presentan mercurio en cantidades muy pequeñas y sin poder ser potencial de explotación.</p> <p>En la época del siglo XIX fue donde la minería de oro se encontraba en su auge y el querer encontrar mercurio (una de las materias primas más necesarias en esta minería) se convirtió en una gran necesidad lo cual explicaría la cantidad tan grande de denuncias encontradas en el Archivo Nacional, pero ninguna sin éxito.</p>
	<p>Existieron dos grandes épocas en la historia del país que se dio la minería de oro.</p>	<p>La minería aurífera fue de gran importancia dentro de la historia del país. Desde ayudar a abrir camino en el mercado</p>

- 2) Extracción aurífera por amalgamación
- El **primer ciclo minero** se da de 1831 a 1848. Esta se caracteriza por ser extremadamente rustica y atrasada a la época colonial (los países vecinos ya practicaban esta minería desde la colonia y en Costa Rica apenas se comienza a dar en el final). El oro llegó a ocupar entre un 45% y un 48% de las exportaciones, dando a Costa Rica una entrada al mundo internacional. Las minas de este primer ciclo se llegaron a ubicar dentro los lugares de preferencia económica, en ese entonces las provincias de Cartago y San José
- El **segundo ciclo minero** se inició en 1890 y finalizó en 1930. Su inicio se dio gracias al hallazgo de dos fuertes minas en la Cordillera de Tilarán que se encargaron de encender el interés por el oro.
- Las principales provincias en las cuales se ubicó la actividad en este ciclo fueron San José, Puntarenas y Guanacaste.
- internacional hasta la monetización dentro del territorio nacional.
- Las técnicas que se aplicaron dentro del país fueron muy pobres en comparación a otros países que ya llevaban años de práctica para ese momento y la inversión fue significativamente baja en ambos ciclos.
- La liberación y emisión de mercurio por parte de esta actividad fue complicada de cuantificar, gracias a que mucha de esta minería fue ilícita y el Gobierno daba mucha libertad y pocos controles.
- Sin embargo, con los datos que se tenían se lograron cuantificar más de 145 toneladas de mercurio emitidas al medio ambiente por esta actividad.
- Estas toneladas no solo forman parte de la carga atmosférica de mercurio a nivel mundial, sino que a nivel local puede presentar un riesgo que hasta este momento es desconocido. Creando así una fuerte necesidad de:
- a) Realizar muestreos analíticos para el hallazgo de sitios de contaminación difusa que no se conocen en el momento especialmente en las zonas de las minas de mayor auge de ambos ciclos (En la provincia de

Cartago y San José para el primero y Guanacaste y Puntarenas para el segundo)

- b) Poder educar a la población especialmente estudiantil y gubernamental sobre este periodo de la historia del país y el latente riesgo de contaminación por mercurio que existe en el país, que muchas veces como no se sabe que existió minería se piensa que es más bajo que el real.

Esto con miras a contribuir con las obligaciones del país para con el Convenio de Minamata y la problemática de la contaminación del mercurio a nivel mundial.

- 3) Lámparas de mercurio para el alumbrado público En el Archivo Nacional se encontró que el otro uso principal del mercurio en la historia de Costa Rica fue el del alumbrado público en las municipalidades. Se encontraron muy pocos documentos antiguos al respecto, pero de estos pocos que se pudieron recuperar en la Institución del Archivo, en solo un año dos municipalidades contaban con al menos 100 lámparas de mercurio cada una las cuales equivalen a 8,9 g de mercurio en cada municipalidad. Tomando estos

Dentro del país existe una deficiencia muy grande con lo que respecta al tema de residuos de mercurio, el uso de las lámparas de mercurio pudo llegar a ser bastante grande junto con la problemática de la mala disposición que se le pudo haber dado. Valdría la pena realizar investigaciones más puntuales a nivel de cantones para conocer sobre la historia del mercurio en cada una de estas y encontrar zonas de contaminación difusa que puedan presentar un riesgo para la salud.

documentos se realizan 3 escenarios diferentes para una proyección de la cantidad de mercurio que existe en el país. Si se toma que, en cada municipalidad de la provincia de San José, anualmente se tiene una compra de alumbrado público igual que las de las dos encontradas. En dos años en lámparas existen más de 179 g de mercurio. Si esto se diera durante una década serían más de 897 g de mercurio; y tomando en cuenta que hasta 1992 se reporta un cambio importante de tecnología, en Costa Rica para esta época se han de tener más de 2 kg de mercurio solo en iluminación pública.

---