



Memoria del curso

**Educación en Salud Ambiental para
el control de la contaminación
por mercurio, la exposición
y el riesgo a la salud**

Memoria

del curso

**Educación en Salud Ambiental para
el control de la contaminación
por mercurio, la exposición
y el riesgo a la salud.**

363.738.460.972.86

M533m Memoria del curso Educación en salud ambiental para el control de la contaminación por mercurio, la exposición y el riesgo a la salud / compiladores María Marta Camacho Álvarez, Diego Armando Retana Alvarado. -- San José, Costa Rica : Vicerrectoría de Acción Social, Universidad de Costa Rica, 2023.

1 recurso en línea (111 páginas) : ilustraciones a color, diagramas a color, fotografías (principalmente a color), gráficos (principalmente a color), archivo de texto, PDF, 13.5 MB.

ISBN 978-9930-568-69-9

1. MERCURIO – ASPECTOS AMBIENTALES -- COSTA RICA. 2. SALUD AMBIENTAL -- COSTA RICA. 3. EVALUACIÓN DE RIESGOS CONTRA LA SALUD – COSTA RICA. 4. MERCURIO -- EFECTOS FISIOLÓGICOS. 5. MERCURIO -- TOXICOLOGÍA. 6. EDUCACIÓN AMBIENTAL -- COSTA RICA. I. Camacho Álvarez, María Marta, compiladora. II. Retana Alvarado, Diego Armando, compilador. III. Título.

CIP/3925

Compiladores

María Marta Camacho Álvarez UCR

Diego Armando Retana Alvarado UCR

Coordinadora general:

María Marta Camacho Álvarez UCR

Equipo organizador y ejecutor:

María Marta Camacho Álvarez UCR

Luis Andrés Loría Calderón. UCR- MEP

Diego Armando Retana Alvarado UCR

Jeudy Cambroner Mora. UCR.

Sofía Arrieta Álvarez UCR.

José Daniel Calderón Ponce UCR

Colaboración

Jessica Arias Valverde

Oscar Campos Guevara

Keila Dilana Monge Guevara

Diseño gráfico y diseño de portada

Hazel Aguilar Barquero

Roberto Ramírez Quirós

Revisión filológica

Julio César Mora Dinarte

Editor

Vicerrectoría de Acción Social, Universidad de Costa Rica

San José, Costa Rica. 2023



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

Ministerios



Universidades



Universidad
de Huelva

UNIVERSIDAD
DE GRANADA



UNIVERSIDAD
INTERNACIONAL
DE LA RIOJA

unir

Organizaciones



RED COSTARRICENSE DE INSTITUCIONES
EDUCATIVAS SOSTENIBLES



GALARDÓN
AMBIENTAL UCR



ICER



Llave del Progreso

Instituto Nacional
de Aprendizaje



CENTROS INFANTILES UNIVERSITARIOS



FESTIVAL

PURO CUENTO

CONSILIENCE

INSTITUTO DE ESTUDIOS INTERDISCIPLINARES AVANZADOS



Asociaciones de estudiantes



ASOCIACIÓN NACIONAL DE ESTUDIANTES DE INGENIERÍA QUÍMICA

Fundaciones y empresas



SOMOS MÁS QUE UNA MARCA.

VORTEX.



Delta Kappa Gamma
Organization Estatal
Costa Rica

Organiza



Contenido

Presentación 9

Capítulo I

El Mercurio y sus efectos en la salud 11

Horacio Alejandro Chamizo García

Capítulo II

¿Qué hace Costa Rica para controlar el uso del mercurio?..... 21

María del Mar Solano Trejos

Capítulo III

Control del uso del Mercurio, el caso de la Universidad de Costa Rica.. 27

Gerlin Salazar Vargas

Capítulo IV

Educación en salud ambiental; un aporte de la Red Costarricense
de Instituciones Educativas Sostenibles 35

Gerlin Salazar Vargas - Manrique Arguedas Camacho

Capítulo V

Prácticas saludables en organizaciones: Proyectando el futuro 43

Mauricio García Hernández

Capítulo VI

Eliminación de las lámparas de mercurio: un cambio posible 47

Carlos Carvajal Benavides

Capítulo VII

En el uso adecuado y responsable de residuos y de metales como el mercurio, se encuentra nuestra capacidad de hacer un cambio 51

Edwin Leitón Zúñiga

Capítulo VIII

La indagación sociocientífica sobre la minería: una experiencia afectiva en la formación docente 57

Diego Armando Retana-Alvarado - Antonio Alejandro Lorca-Marín

Capítulo IX

El mercurio, un tema para la indagación en la enseñanza secundaria 67

Daniilo López Pérez - Eugenia Rodas López - Pedro Luis Villaseñor Fajardo

Diana Ivonne Dardón Tejada - Katherine Alejandra Arias Hernández

Gina Sophia Noriega Martínez - José Ricardo Arriola García

José David Chay Grijalva

Capítulo X

Análisis de la problemática social y ambiental por contaminación con mercurio y otros metales pesados a través de la metodología de indagación científica, usando como estrategia didáctica el desarrollo de un campamento. 77

Juan Gabriel Coto Rodríguez - Jesús Alberto Garro Umaña

Capítulo XI

Análisis de las tendencias exhibidas durante los cursos ESAM 2020-2021 105

Oscar Campos Guevara

Referencias bibliográficas 109

Presentación

Con el propósito de atender los requerimientos sociales, particularmente de las poblaciones más vulnerables, la educación superior costarricense ha buscado ya desde hace muchas décadas promover el análisis, la discusión y la participación en la solución de los problemas nacionales, así como por fortalecer el desarrollo de capacidades locales y la consolidación de la investigación y la acción social; tanto así que en la Universidad de Costa Rica (UCR) estos pilares formaron parte de las políticas institucionales 2016-2020. Para el quinquenio actual, la institución señala el interés por generar espacios de diálogo orientados a contribuir con el bienestar nacional e internacional, mientras que se busca propiciar la transferencia del conocimiento generado en las actividades docentes, investigativas y de acción social, de manera que la universidad contribuya una vez más con el desarrollo científico, tecnológico, cultural, social y ambiental de la región.

En cumplimiento con dichas políticas, la UCR (en el marco de su Proyecto ENLACE: plan UCR-MEP para la inclusión educativa TC-722) lideró el primer conversatorio sobre el mercurio denominado: “El riesgo del uso del mercurio y el esfuerzo de un país para su erradicación” con el apoyo del Ministerio de Educación, el Ministerio de Ambiente y Energía, las demás universidades estatales costarricenses y la empresa privada. A este conversatorio; donde se rescataron las consecuencias y aprendizajes del desastre ocurrido en la Bahía de Minamata, Japón; le siguió la organización del “Campamento didáctico para el aprendizaje de la química y sus implicaciones medio ambientales” (2019). Como resultado de este, se observó la necesidad de crear un curso en educación ambiental y salud pública exclusivamente dedicado a la problemática que el mercurio representa. Uno que más allá de impartir lecciones en modalidad catedrática, recolectara sus opiniones y analizara sus perspectivas.

Al atender dicha necesidad, se logra determinar que las creencias generalizadas mostradas durante el curso Educación en salud ambiental para el control de la contaminación por mercurio, la exposición y el riesgo a la salud (ESAM

2020-2021) son lógicas y comprobables; existe siempre un argumento fehaciente que fundamenta la perspectiva de los participantes. Entre ellas, se observan 5 tendencias o asociaciones principales: “clasificación y manejo de residuos que contengan mercurio” con la comunidad o gobiernos locales; “toma de medidas a nivel institucional, legal, reglamentario o con respecto al Convenio de Minamata” con el nivel país o los gobiernos nacionales; la “compra, reducción y sustitución de productos con mercurio” con el ámbito doméstico o a nivel del hogar; los “procesos de educación ambiental” con el nivel comunitario o de gobierno local; y la “articulación entre la empresa estatal y privada” con el ámbito país o gobierno nacional.

Por otro lado, no obstante, se encontró que, para cada una de estas 5 tendencias, las otras dos unidades demográficas, aquellas cuya influencia se subestimaba o que el colectivo parecía no darles mucha importancia, cumplían papeles análogos y complementarios al de la unidad priorizada; muchas veces eran papeles intransferibles. Se concluye entonces que no puede un sector u organización social reemplazar las acciones del otro. De esta manera se logra abstraer que solo mediante acciones sincronizadas y esfuerzos coordinados de los ámbitos doméstico, comunal y nacional se puede abordar apropiadamente el riesgo que el mercurio plantea. Sea que se analice desde la perspectiva ambiental, social, económica, educativa o política, resulta evidente que la región Centroamericana tiene mucho potencial y espacio para mejoras en materia de la problemática asociada con el mercurio; salud ambiental, contaminación, exposición y riesgos. Es solo mediante la inclusión y la colaboración intersectorial que la región empieza a salir adelante; reconociendo el valor intrínseco e inalienable que cada sector posee en los procesos nacionales de toma de decisiones y su respectiva implementación. En este panorama integral de optimismo y esfuerzos dirigidos es que el equipo organizador enmarca al Educación en salud ambiental para el control de la contaminación por mercurio, la exposición y el riesgo a la salud, cuya memoria se presenta en este documento.

Capítulo I

El Mercurio y sus efectos en la salud

Horacio Alejandro Chamizo García¹

Desde hace varios siglos se conoce el carácter tóxico de algunas sustancias, por ejemplo: se asociaron ciertas ocupaciones laborales con demencias en la población trabajadora, esto se ve claramente plasmado en obras literarias como Alicia en el país de las maravillas, ícono de la literatura infantil. En el caso de las pieles y la elaboración de sombreros, el nitrato de mercurio juega un papel esencial, sin embargo, también es una sustancia tóxica. Por supuesto que, en la antigüedad, no se conocía con especificidad el papel de estas sustancias, la manera en que entraban en contacto con el ser humano y mucho menos el proceso fisiopatológico.

El presente documento pretende abordar el tema del mercurio, específicamente desde la perspectiva epidemiológica y toxicológica, para entender cuáles son los factores de riesgo que inciden en la aparición de algunas enfermedades asociadas al mercurio.

El mercurio es un elemento constitutivo del planeta, está presente en el ambiente externo a partir de sales como el sulfuro de mercurio, el nitrato de mercurio, el óxido de mercurio y el cloruro de mercurio. El movimiento de este tóxico se da a partir de la misma escorrentía, a partir de la erosión y el desgaste de las rocas y el suelo. Estas sustancias se depositan en las cuencas marinas y fluviales más importantes, una vez allí, sufren procesos de transformación que penetran en la cadena trófica y pueden terminar contaminando al ser humano.

¹ Universidad de Costa Rica. Especialista en Salud Pública, Gobierno y Políticas Públicas.

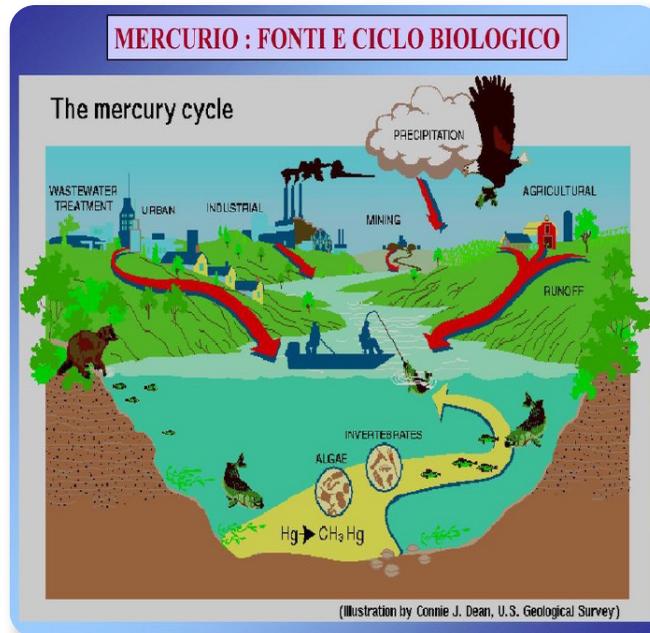


Figura 1. Fuentes y ciclo biológico del mercurio en la Tierra.
Fuente: Connie Dean.

Las fuentes naturales del mercurio son diversas, se asocian con la desgasificación y el vulcanismo. Este fenómeno está muy presente en Costa Rica que tiene una importante actividad volcánica, y el desgaste por erosión e intemperismo de estas rocas provoca la contaminación de algunas cuencas fluviales y marinas.

También existen fuentes antrópicas de gran relevancia, las cuales pueden ser provocadas por la industrialización, estas tienen que ver con la fabricación de plaguicidas, la fabricación de pinturas, incluso con algunas actividades de carácter social como la atención en salud, pues este elemento químico está presente en la fabricación de equipos para la industria médica y odontológica.

El mercurio se integra a los ciclos biogeoquímicos, se traslada, esto significa que no se deposita y permanece estático, sino que forma parte de los intercambios de sustancias entre los diferentes elementos del ambiente que están presentes en el ecosistema. Por ejemplo, es de gran relevancia la circulación del mercurio metálico en forma de vapor, ya que este metal tiene la posibilidad de pasar al estado gaseoso muy fácilmente a temperatura ambiente, así, las grandes masas de aire trasladan el mercurio y permiten su circulación de un ecosistema a otro.

Por otra parte, el mercurio forma ciclos a nivel local, sobre todo el metilmercurio, lo cual es muy importante desde el punto de vista epidemiológico, ya que este

se asocia potencialmente a varias enfermedades crónicas presentes en diversos países, entre ellos Costa Rica. Entonces, existe circulación a nivel global y local, es decir, el mercurio está presente en nuestro entorno cotidiano.

Entre los escenarios que ilustran cómo el mercurio aparece en nuestra vida cotidiana, se encuentra, por ejemplo, la desgasificación de un volcán, que produce gases en los que se puede encontrar el mercurio en concentraciones de relativa importancia para la salud del ser humano, y esas partículas a veces alcanzan un tamaño muy pequeño, es decir, menores a una micra. Esto quiere decir que se trata de partículas que son fracciones de miles de partes dentro de 1 milímetro, de manera que pueden ser respiradas y absorbidas, y pasar al torrente sanguíneo, distribuyéndose, acumulándose y generando procesos fisiopatológicos.

Al mismo tiempo, se utiliza en la industria para la fabricación de fluorescentes, lámparas y equipos médicos de medición, por lo tanto, está presente en todos los ambientes domésticos y laborales.

También se utiliza en la minería, es un insumo muy importante para la extracción de oro; incluso está presente en las amalgamas que se usan en odontología y que muchas personas todavía conservan, las cuales desprenden pequeñas dosis de mercurio que podrían ser tóxicas.

Así mismo, el mercurio puede estar presente incluso en los productos marinos, ya que como se mencionó anteriormente, el mercurio forma parte de las cuencas marinas y fluviales, y puede ingresar a la cadena trófica, por lo tanto, también puede estar presente en ciertas especies marinas y fluviales que son parte de alimentos de autoabastecimiento para algunas poblaciones.

Un aspecto de suma importancia respecto al mercurio es su efecto teratogénico, es decir, el daño que se puede producir en el embrión y en el feto a partir de los depósitos de mercurio que tenga la madre a lo largo de la vida, esto como consecuencia de la exposición. Como se puede ver, la exposición es diversa y puede ser importante desde el punto de vista epidemiológico.

Es claro que se habla de ciclos biogeoquímicos y que el mercurio forma parte de estos ciclos, los cuales son de gran importancia porque han influido en epidemias a nivel mundial, como la que sucedió en Minamata, Japón, producto de la acumulación de mercurio en el fondo de las cuencas fluviales y marinas, y su transformación a partir de microorganismos que están en el fondo, modificando estos sedimentos y convirtiendo mercurio metálico monometil y dimetil. Esta es la oportunidad que tiene el mercurio para incorporarse en la cadena trófica, es decir, es la cadena de alimentación de las especies, la cual es fundamental para que estas puedan existir, pero como parte de este proceso la concentración del mercurio se incrementa, se biomagnifica. El ser humano se inserta en la cadena trófica al

alimentarse de las especies, por lo que puede resultar expuesto a pequeñas dosis de mercurio durante largos períodos de tiempo.

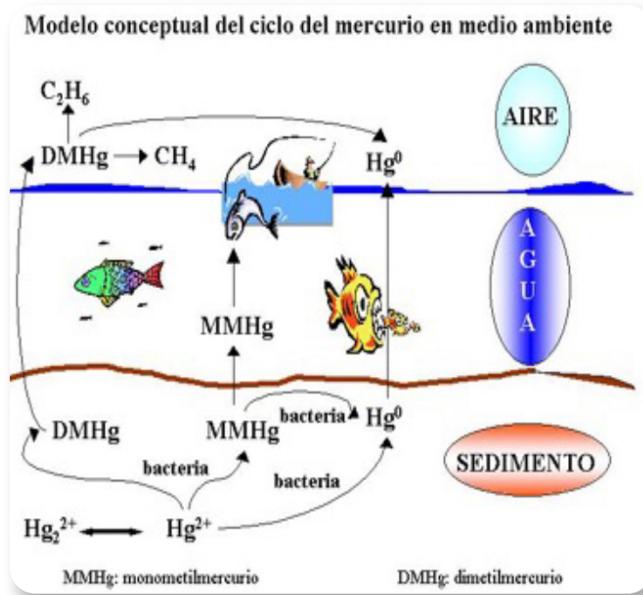


Figura 2. Incorporación del mercurio (Hg) en la cadena trófica.

Fuente: Instituto Nacional de Tecnología Industrial: Argentina.

La biomagnificación es el proceso de aumento de la concentración de metales (el mercurio como parte de estos metales) en los tejidos de animales que forman parte de la cadena trófica. Esto quiere decir que las especies mayores, las especies depredadoras y las especies más longevas tienden a acumular mayor cantidad de mercurio en sus tejidos. Muchas veces en la dieta del ser humano aparecen estas especies, y si no se observa un balance adecuado en la alimentación, pueden incrementar los niveles de exposición y el riesgo de sufrir enfermedades como el síndrome de Minamata.

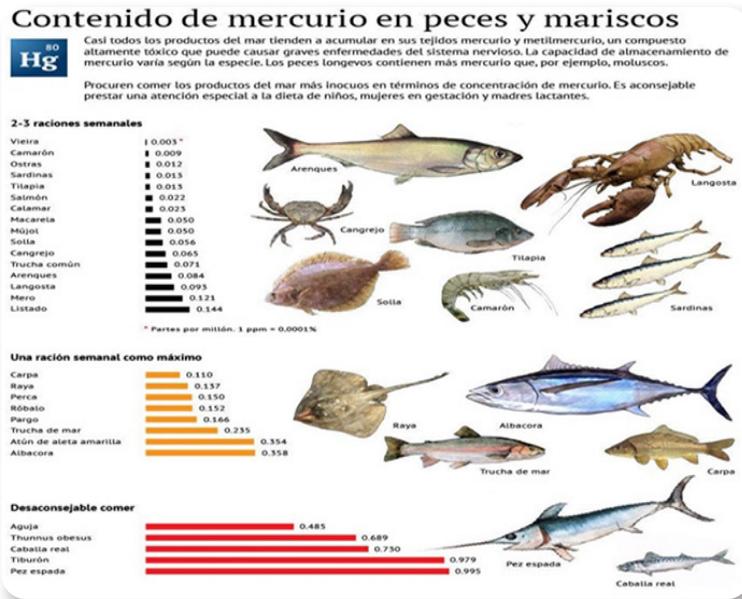


Figura 3. Representación de la biomagnificación del mercurio en especies marinas.

Fuente: RIA Nóvosti (2011)

El **síndrome de Minamata** es un síndrome neurológico producido por un proceso de biomagnificación del mercurio, que es un agente neurotóxico. La epidemia causada por el brote de dicho síndrome se debió a la exposición a agentes tóxicos de origen químico en la bahía de Minamata entre los años 1932 y 1968. Aproximadamente, se vendieron 81 toneladas de desechos que contenían mercurio, prácticamente fueron 81 toneladas de mercurio vertidos, esto originó una importante contaminación en el fondo de la bahía, y, al mismo tiempo, contaminación en la vida marina, que es la base alimenticia de la población local.

Aquí se tiene un ejemplo claro de la influencia que tiene la contaminación en el ecosistema, y sus consecuencias en la salud debido a una serie de procesos epidemiológicos que se originaron a partir de un incidente por la contaminación de una cuenca marina local, ya que era una población que se autoabastecía de la pesca. Debido a esto se registraron aproximadamente 3000 casos en varios años, entre ellos 400 casos neurológicos, 111 defunciones y posiblemente muchos más casos no registrados. A este se le conoce como uno de los eventos epidemiológicos de mayor trascendencia a nivel mundial provocado por la exposición a un agente químico.

A partir de este acontecimiento, se originan reacciones a nivel político dentro de Japón y a nivel internacional, lo que condujo a una serie de políticas globales de prevención para el control del riesgo a la exposición al mercurio.

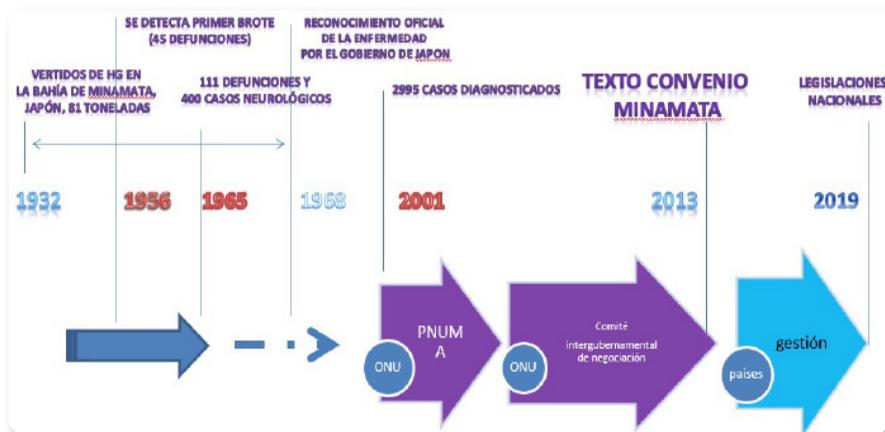


Figura 4. Esquema de los eventos ocurridos en Minamata a partir de la exposición a mercurio.

En Costa Rica se documentan también algunos casos accidentales, por ejemplo, el caso de los estudiantes en la isla de Chira, que se contaminaron por exposición al mercurio, el cual se había extraído en un laboratorio. Al mismo tiempo, también se dan casos como el de Crucitas, donde se ha documentado por la prensa la devastación ocurrida en el ecosistema y el vertido de mercurio a las aguas superficiales. Esto demuestra que Costa Rica no escapa de los procesos de contaminación por mercurio. Como este se documentan muchos casos más, lo cual es una preocupación para el estado.

¿Por qué es peligroso el mercurio para la salud humana?

Entre los elementos relativos a la toxicología del mercurio, se encuentra la toxicocinética y toxodinámica, es decir, aquello que sucede desde el momento en que el ser humano está en contacto con el agente químico, cómo se absorbe, se acumula, se excreta, y los órganos blandos que pueden estar comprometidos a partir de este proceso. Por supuesto, también son importantes las consecuencias fisiopatológicas y las enfermedades que se pueden producir a nivel agudo, es decir, los efectos a corto plazo provocados por la exposición a altas dosis; así como la intoxicación crónica, lo más peligroso y que más llama la atención a los epidemiólogos. Estos últimos se refieren a procesos crónicos que se producen a partir de la exposición a pequeñas dosis durante largos periodos de tiempo, y sus efectos muchas veces son solapados, no se identifica el agente que pudo haberlos originado.

Desde luego, existen varios grupos de alto riesgo a nivel ocupacional, por ejemplo, los mineros, joyeros, dentistas, laboratoristas y personas que trabajan en la agricultura, estos últimos porque el mercurio es un componente de múltiples plaguicidas, de ahí su carácter tóxico hacia la vida animal y vegetal.

Hay que tener presente que existen dos formas de mercurio, ambas igualmente importantes desde el punto de vista epidemiológico. La primera de ellas es el **mercurio que ingresa por la vía respiratoria** gracias a su capacidad de volatilizarse, ingresa junto con otros gases a través de los alveolos, que son una superficie de absorción de gases, y, a partir de aquí, se traslada hacia otros órganos, donde ocurre la metabolización e incluso la acumulación. Esta vía es muy activa e importante, y es probablemente la que originó la intoxicación de los estudiantes en la isla de Chira, por ejemplo.

Por otro lado, otra forma de mercurio que tiene una gran importancia desde el punto de vista epidemiológico y toxicológico es el **metilmercurio**. Cuando el mercurio se adjunta a átomos de carbono e ingresan en la cadena trófica, el mercurio que se acumula en los animales y vegetales es muy fácil de absorber a través de la **vía gastrointestinal**, entonces, a partir de aquí se puede absorber, metabolizar y acumularse, causando daños importantes.

La vía respiratoria tiene una tasa de absorción de un 80%, por eso se le conoce como una vía muy efectiva para la absorción de gases o vapores de mercurio; sin embargo, el metilmercurio por la vía gastrointestinal tiene la misma tasa de absorción, un 80%, es decir, es un tóxico muy hábil que pasa a través de las membranas más importantes de las principales vías de absorción que tiene el ser humano. La tercera vía toxicológica ambiental de absorción es mediante la piel.

La vía aérea es determinante en las ocupaciones que trabajan con mercurio, incluso en la población general cuando suceden accidentes que provocan la ruptura de una luminaria; al quebrarse una lámpara que contiene mercurio, este podría ingresar fácilmente por la vía aérea si no se toman las medidas adecuadas. No obstante, esta vía incide más que todo en un contexto ocupacional.

Por otro lado, en el caso del metilmercurio, la vía gastrointestinal es sumamente relevante, y fue la que ocasionó el brote masivo en Minamata. En estos casos, el agente tóxico pasa a la sangre después de absorberse y se dirige al hígado, donde se metaboliza, se desactiva, se ionizan las sales, se hidrolizan y se excreta. Por eso en algunos órganos como los órganos blancos se pueden desarrollar procesos cancerígenos, este es el caso del hígado, que es el encargado de metabolizar. Asimismo, como sucede con otros metales, el mercurio puede generar procesos cancerígenos en el riñón, el cual es un órgano excretor por excelencia, encargado de la filtración y expulsión de los metabolitos de mercurio.

De igual forma, este metal, tiene la posibilidad de ingresar en otros órganos importantes como el encéfalo, por este motivo se le conoce como un agente neurotóxico. El mercurio es capaz de superar la barrera hematoencefálica, llegar al cerebro y al cerebelo, y allí producir afectaciones a las neuronas y a su metabolismo, por lo tanto, puede tener consecuencias como demencias y cambios en la conducta y aprendizaje de los niños, lo cual se encuentra documentado.

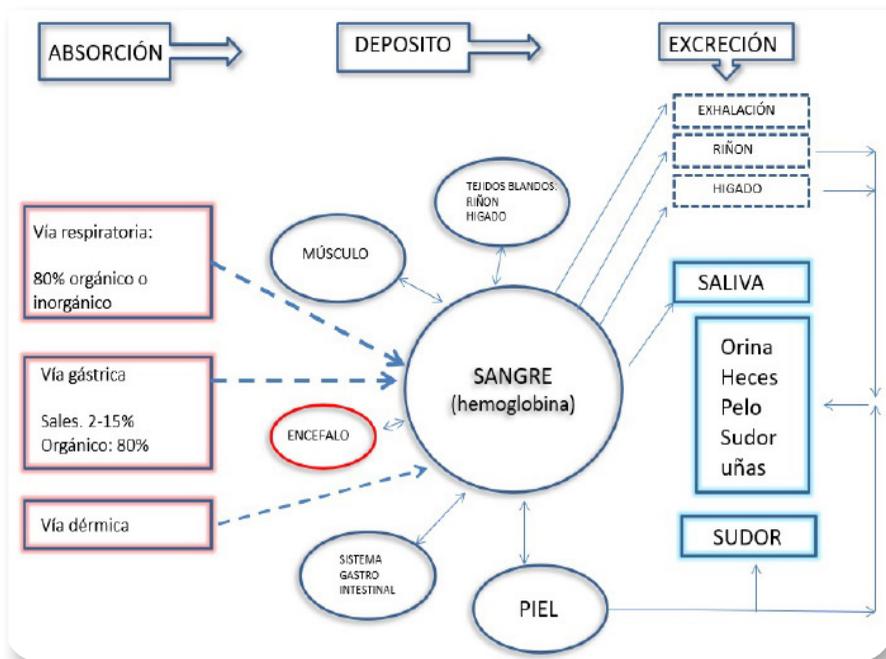


Figura 5. Modelo toxicocinético del mercurio en el ser humano.

Fuente: a partir de Ramírez Augusto V. (2008) Intoxicación ocupacional por mercurio.

En el cerebro puede existir una acumulación importante de mercurio, del total de mercurio absorbido por el ser humano el 6% puede acumularse en el cerebro (de ahí el papel que tiene desde el punto de vista neurotóxico) y en otros órganos, como el hígado, los riñones y los músculos, que también tienden a acumular mercurio. En la sangre siempre se encuentra una parte importante del total de mercurio que ha ingresado, esta circula y se encarga de distribuir y de excretar el agente.



Figura 6.

Distribución del mercurio en el cuerpo humano.

Fuente; a partir de: González-Estecha M. et al. (2014).

Se encuentra documentada una serie de afectaciones, algunas de ellas leves, como las que se producen a nivel del sistema nervioso periférico. El accidente ocurrido en la isla de Chira, Costa Rica y lo que se vio en algunos casos en Minamata son efectos agudos debido a las exposiciones a altas dosis. En el brote de Minamata, se lograron documentar y registrar importantes afectaciones en el sistema nervioso periférico de algunos animales, entre ellas, la descoordinación de movimientos y la pérdida de funciones de los miembros superiores e inferiores.

Desde el punto de vista crónico, las afectaciones todavía son más preocupantes, pues se sospecha que detrás de

demencias como el Alzheimer o el Parkinson, que son cada vez más frecuentes, se encuentra la exposición a agentes tóxicos de origen químico como el mercurio. En estos casos no sólo se produce una afectación al sistema nervioso periférico, sino que se ve afectado el sistema nervioso central por acumulación de mercurio en el cerebro. Además, los órganos blancos, como el riñón y el cerebro, pueden desarrollar procesos cancerígenos.

Es importante mencionar que el mercurio es un inhibidor enzimático, inhibe la colinesterasa, que juega un papel importantísimo en la transmisión del impulso nervioso, esto produce la pérdida de movilidad y genera incapacidad para desplazarse. Esto ya no es una consecuencia directa, sino indirecta, por inhibición enzimática, así que, debido a la exposición ocupacional, existe una serie de síndromes que se pueden generar, como síndromes digestivos, neurológicos, renales y oftalmológicos.

Aunque el público general es la mayor preocupación de la epidemiología, esto no quiere decir que no interese lo que sucede en los ambientes ocupacionales, ya que allí se dan los pequeños brotes, y estos provocan que las personas desarrollen enfermedades irreversibles y degenerativas. Sin embargo, en epidemiología estamos más enfocados en los acontecimientos de carácter masivo, los que afectan a grandes cantidades de personas, a la sociedad en general, y los procesos crónicos que se puede dar, como lo sucedido en Minamata, consecuencia de la exposición al metilmercurio.

Para finalizar, cabe mencionar tres factores fundamentales: la **carcinogenicidad**, es decir, el desarrollo de cáncer en órganos blancos como el hígado, los riñones y el cerebro (aunque aún no hay evidencia científica contundente al respecto); la **neurotoxicidad**, que afecta el sistema nervioso periférico, el sistema nervioso central y genera enfermedades neurodegenerativas irreversibles; y la **teratogenicidad**, que se refiere a la posibilidad que tiene el mercurio, así como otros metales, de pasar la barrera placentaria, afectando al embrión y al feto, esto obviamente repercute en la reproducción, que es un elemento social de gran relevancia para un país.

En síntesis, el mercurio es un agente tóxico que se encuentra en el ambiente y debe ser una preocupación para las personas y el Estado, con el fin de que, a partir del control de la exposición y del conocimiento sobre el entorno, se actúe para poder controlar o prevenir los procesos de contaminación de los espejos de agua y cuencas fluviales y marinas. Está en las manos de cada persona la capacidad de prevenir y de promover la salud.

Capítulo II

¿Qué hace Costa Rica para controlar el uso del mercurio?

María del Mar Solano Trejos²

Este documento trata sobre el convenio de Minamata, sin embargo, antes se debe entender qué es el mercurio, dónde se puede encontrar y por qué se realizó un convenio a causa de un elemento químico.

El mercurio es un elemento de la tabla periódica, es un metal líquido a temperatura ambiente, sumamente versátil, y usado para diferentes fines industriales y médicos, entre otros. El mercurio se puede encontrar en diferentes productos de uso común, como termómetros, cosméticos, dispositivos electrónicos, lámparas fluorescentes, switches, amalgamas dentales, preservantes para algunas vacunas y ciertos productos de consumo.

² Ministerio de Ambiente y Energía. Dirección General de Calidad del Ambiente.

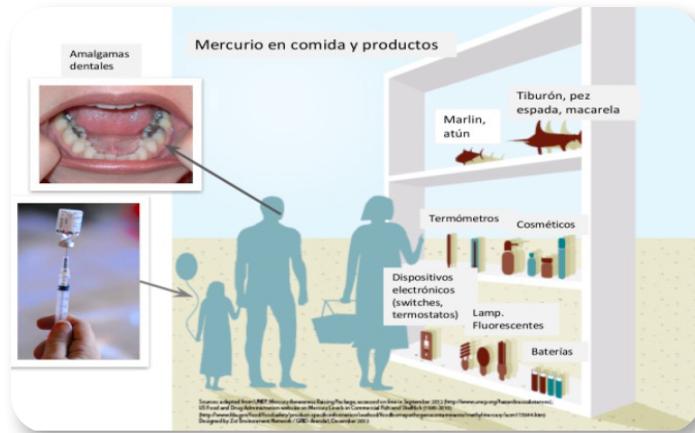


Figura 7. Productos en los que encontramos mercurio.
Fuente: Zoi Environment network, adaptada de UNEP.

El mercurio puede ser usado en diferentes procesos a nivel industrial como las plantas de producción de cloro álcali y cloruro de vinilo así como la minería de oro artesanal. También existen otras actividades que de manera indirecta pueden generar emisiones y liberaciones de mercurio, como: las plantas de cemento, plantas para la producción de energía a partir de carbón, rellenos sanitarios, plantas de tratamiento de aguas residuales, entre otros.

Todas estas actividades pueden liberar mercurio al ambiente ya sea al aire, al agua o al suelo, este mercurio que entra al ambiente puede empezar a bioacumularse y biomagnificarse en seres vivos como los peces y eventualmente exponer la salud humana a este compuesto.

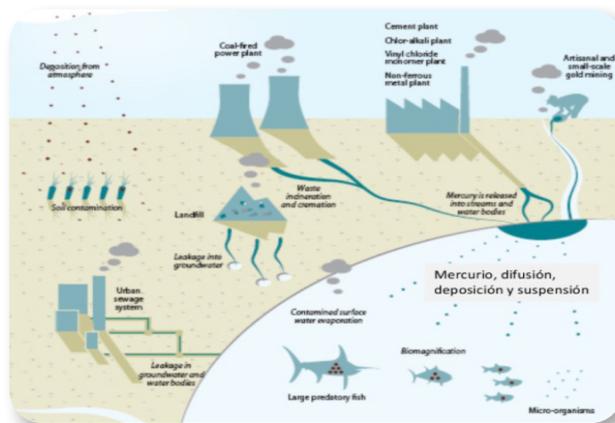


Figura 8. Disponibilidad del mercurio en el ambiente.
Fuente: United Nations Environment Programme (2013). Mercury: Time to Act.
<https://wedocs.unep.org/20.500.11822/27436>.

En el año 2010, el programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente hizo un estudio sobre las emisiones producto de las actividades industriales, y se reveló que el 37% de las emisiones de mercurio provenían de la minería de oro artesanal, el segundo lugar lo ocupa la quema de combustibles fósiles, el tercer lugar la producción de metales no ferrosos y el cuarto lugar la producción de cemento. Este mismo estudio se repitió en el año 2018 con cifras muy similares, lo cual resulta preocupante.

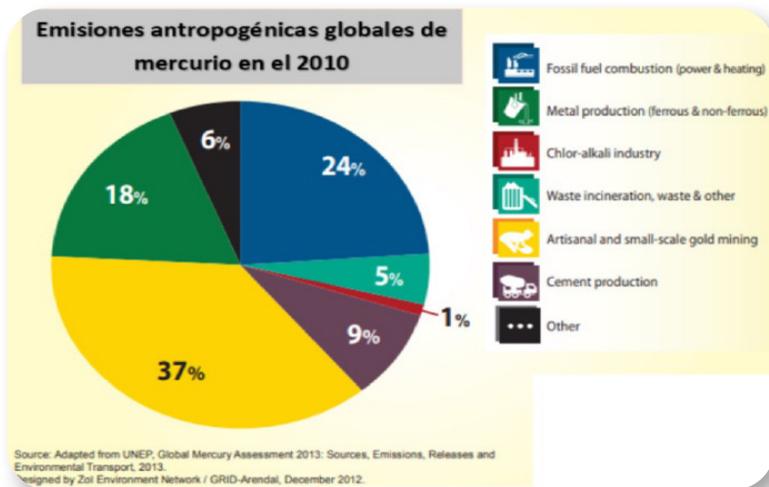


Figura 9. Gráfico sobre las estadísticas de emisión industrial de mercurio.

Fuente: Adaptado de United Nations Environment Programme (2013). Mercury: Time to Act.

<https://wedocs.unep.org/20.500.11822/27436>.

Todas estas emisiones así como aquellos productos con mercurio a los que nos podemos exponer, podrían afectar la salud humana, produciendo afectaciones al sistema nervioso central, afectación fetal, entre otras. Por supuesto esto dependerá del nivel y tipo de exposición así como la frecuencia con que se da esta exposición.

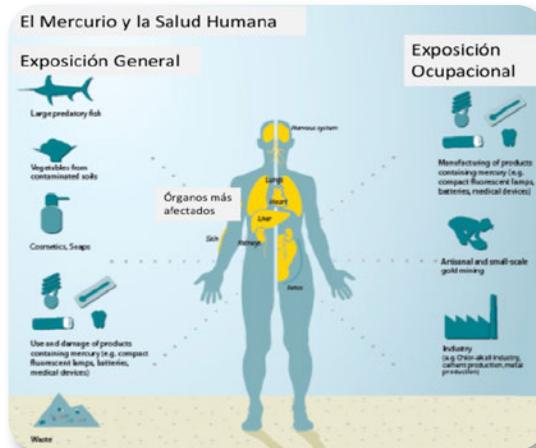


Figura 10. Principales órganos afectados por la exposición al mercurio.

Fuente: United Nations Environment Programme (2013). Mercury: Time to Act.

<https://wedocs.unep.org/20.500.11822/27436>.

A nivel mundial, el evento que marcó un precedente sobre el mercurio fue el desastre que ocurrió en la bahía de Minamata. En la década de los años 50, se vertió mercurio en esta bahía, contaminando a los peces, que son la base nutricional de la población local. A partir de esto y de las consecuencias que provocó, en el año 2009 el programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente inició las negociaciones para un instrumento legalmente vinculante sobre mercurio. Entre el año 2010 y el 2013 se llevaron a cabo las negociaciones sobre este convenio, culminando en el 2013 con el documento final, su nombre es **Convenio de Minamata sobre el Mercurio**. En ese mismo año la mayoría de los países firmaron en Japón este convenio. Costa Rica, mediante el proyecto de ley 14426, aprobó este convenio en el 2016 y fue publicado en la Gaceta en octubre del 2016 mediante la ley 9391. Costa Rica lo depositó en las Naciones Unidas en enero del 2017. Actualmente este convenio cuenta con 137 países parte (a marzo del 2022).

Los temas del Convenio de Minamata tratan de abarcar todo el ciclo de vida de este compuesto, es decir, desde que se extrae de manera primaria, hasta la comercialización, usos, desechos, emisiones, liberaciones.

Este convenio también trata el tema de los procesos de fabricación que involucran el uso de mercurio y los compuestos de mercurio, es decir, cuando el mercurio se utiliza como catalizador de procesos químicos y no forma parte del producto final, sino que se utiliza solamente en el proceso de fabricación. También trata el tema de la minería de oro artesanal y en pequeña escala, realizada en muchos países del mundo y Latinoamérica, en donde se usa el mercurio para amalgamar el oro y así poder extraerlo.

Otro aspecto importante son las emisiones y liberaciones, en este convenio se entienden las emisiones como el mercurio que se dirige hacia el aire y las liberaciones como el que va hacia el agua o el suelo. Así mismo, el convenio regula todos los procedimientos para exportar o importar mercurio, y en cuanto a los desechos de mercurio o contaminados con mercurio, se rige por los lineamientos del Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación.

Este convenio también tiene una serie de anexos en donde quizás el más importante es el anexo A, concerniente a los productos con mercurio añadido. Para este caso, el convenio genera un listado de productos que se deben dejar de utilizar, exportar o importar para el 2020. Entre estos productos se encuentran las baterías, interruptores, lámparas fluorescentes (entre otros tipos de lámparas), cosméticos, plaguicidas que contienen mercurio y algunos equipos médicos, principalmente aquellos que se utilizan para medir la presión y los termómetros de mercurio.

En el caso de Costa Rica y sus acciones para implementar este convenio, en el 2015 el país desarrolló el proyecto Evaluación inicial de Minamata (MIA, por sus siglas en inglés). A partir de este proyecto, se generaron 6 publicaciones, cada una de ellas enfocadas en diferentes aspectos, por ejemplo, un estudio jurídico sobre las implicaciones de la implementación del convenio, monitoreo ambiental en diferentes áreas prioritarias, la evaluación de la minería artesanal y el uso de amalgamas dentales en Costa Rica, un estudio socioeconómico sobre las implicaciones económicas de la sustitución de estos productos con mercurio, y la sustitución del uso de mercurio en la minería de oro artesanal.

A partir de estos estudios se realizó un taller con las diferentes instituciones y actores interesados en el asunto para determinar cuáles serían los temas prioritarios para Costa Rica; se identificaron 3 aspectos prioritarios: los productos con mercurio añadido, el segundo fue la extracción de oro en la minería artesanal y el tercero sobre los aspectos relacionados con la salud.

Al respecto, Costa Rica ya ha realizado una serie de actividades para promover la sustitución o la eliminación del mercurio. Una de sus acciones fue la entrega de termómetros infrarrojos a diferentes hospitales y clínicas del país (2016), la segunda consistió en actividades de capacitación para las comunidades mineras sobre procesos libres de mercurio para la extracción de oro (2016), y la tercera ha sido la exportación de desechos de mercurio para su respectivo tratamiento (2019). Estos desechos eran provenientes principalmente del sector hospitalario de salud pública del país, pero también de otros sectores. Ese mismo año también se entregaron contenedores herméticos a los diferentes hospitales para que pudieran almacenar los desechos de mercurio que se generaran después de esta exportación.

Ahora bien, también existen actividades que actualmente se encuentran en proceso, una de ellas es la elaboración del reglamento técnico para la regulación de luminarias en Costa Rica, con este se fijarán los límites de mercurio que pueden contener estas luminarias para entrar al país. También se está trabajando en un Plan Nacional de Acción para la reducción o eliminación del mercurio en la minería, este proyecto inició en el 2020 y se espera terminar en el primer semestre del 2022.

Además, se publicó en diciembre del 2021 el Decreto 43170-MINAE-S “Prohibición del registro, importación, exportación y fabricación de productos con mercurio añadido incluidos en el anexo a, parte I del Convenio de Minamata sobre el mercurio. También se está trabajando en una directriz para la promoción de la compra de proyectores libres de mercurio en las instituciones públicas.

De esta manera, Costa Rica sigue avanzando con pasos firmes hacia la implementación del Convenio de Minamata. Además, tuvo una intervención activa en la Conferencia de las Partes de este convenio, en donde se congregan todos los países que han ratificado o aprobado este Convenio. En esta reunión se toman las decisiones más importantes para continuar con el trabajo establecido en el Convenio.

Desde el Ministerio de Ambiente y Energía reiteramos nuestro compromiso para seguir trabajando en este tema con todas las instituciones.

Capítulo III

Control del uso del Mercurio, el caso de la Universidad de Costa Rica

Gerlin Salazar Vargas³

La Universidad de Costa Rica (UCR) es la universidad estatal más grande de Costa Rica, está presente a lo largo y ancho del país con más de 12 ubicaciones entre sedes regionales y recintos, y alberga más de 45000 estudiantes y 8000 funcionarios académicos y administrativos.

La UCR tiene un gran impacto en investigación, acción social y docencia en el país, por tanto, con este grado de actividad, resulta necesario realizar algunas interrogantes en el marco de residuos que contengan mercurio.

¿Hay mercurio presente en las actividades universitarias?

En el 2016 Costa Rica ratifica el convenio de Minamata, el cual tiene como objetivo proteger la salud humana y el medio ambiente del impacto del mercurio. Este convenio establece cuáles acciones pueden estar exentas de la aplicación de la restricción de uso del mercurio. En su artículo 3 se presenta una exención sobre el uso del mercurio en procesos de investigación, y al ser la UCR una universidad pública que dirige investigación, también se debe tener claro en qué espacios se está utilizando mercurio que puede ser dañino, y en cuáles contextos se puede controlar.

³ *Universidad de Costa Rica. Gestora Ambiental de la Unidad de Gestión Ambiental (UGA). Máster en Gestión de Recursos Naturales y tecnologías de la producción.*

En los procesos de investigación se pueden establecer diferentes protocolos para hacer una gestión adecuada de este posible residuo. El artículo 4 del convenio establece específicamente para cuáles productos con mercurio añadido, independientemente de la actividad, será restringida su importación y exportación. Los que se utilizan en la Institución y están señalados en el anexo A son: los bombillos fluorescentes y las lámparas fluorescentes compactas y lineales, las cuales se utilizan para la iluminación de las instalaciones de la universidad, las lámparas de vapor de mercurio a alta presión, que se utilizan principalmente en proyectores, empleados para dar clases, exposiciones y talleres, plaguicidas, bioinsecticidas, amalgamas dentales, aparatos de medición no electrónicos, los cuales se han sustituido por aparatos electrónicos para evitar la presencia de mercurio.



Figura 11. Artículos con mercurio añadido presentes en el anexo A del convenio Minamata.

¿Cómo fue el proceso de erradicación del uso del mercurio en la institución?

Para erradicar el uso del mercurio en la Universidad de Costa Rica, primero se realizó la selección de un producto específico considerando su disponibilidad de mercado y tasa de uso, por lo cual se decidió analizar el caso de los proyectores. Como se puede suponer, una institución con gran cantidad de estudiantes y proyectos requiere numerosos equipos de proyección y sus lámparas de recambio, que alargan la vida útil.

Entonces, bajo este análisis y considerando las opciones que ofrecía el mercado costarricense, se consideró que la adaptación de este producto podría ser relativamente sencilla. El paso siguiente consistió en comunicarse con el Centro de Informática de la institución, que establece 3 tipos de estándares para la adquisición de los proyectores. Se decidió recomendar el estándar medio, que es en el que principalmente se adquiere.

Se requirió de la asesoría de personal técnico especializado de la UCR, la Facultad de Ingeniería, la Comisión de Compras Sustentables (en donde está representada la administración), la Unidad de Gestión Ambiental y la Regencia Química, esto para tomar una decisión sobre cómo realizar los ajustes necesarios en el estándar.

Finalmente, una vez que se conocían todas las características que debían ser ajustadas en el cartel de adquisición, se realizaron los cambios al cartel y se ejecutó una compra para observar cómo reaccionaba el mercado ante esta nueva solicitud. Este estándar de proyector debía ser libre de mercurio, y tuvo que pasar por todo el proceso listado anteriormente para poder convencer a los técnicos del Centro de Informática de que había disponibilidad de mercado y que incluir este criterio no implicaba un cambio en la calidad de los proyectores.



Estándar de proyector multimedia de rendimiento moderado portátil

CI-E90 20190517 Pág 1 de 2



DESCRIPCIÓN GENERAL

Nomenclatura	Significado
ID. General	Estándar Equipo Tecnológico CI-43-2019
CI-E90	Estándar de proyector multimedia de rendimiento moderado portátil
20190517	Fecha de actualización

Proyectores de multimedia de tecnología LCD y DLP para proyección de vídeo, con el tipo de fuente de luz denominada Diodo láser, LED o Láser LED, debe ser libre de mercurio. Es un proyecto de rendimiento intermedio de 2500 ANSI lúmenes a 3000 ANSI lúmenes, con un peso adecuado para su movilidad.

Figura 12. Resumen del Estándar de Proyector después de las modificaciones adoptadas.

Fuente: Centro de Informática, Universidad de Costa Rica

¿Qué pasa en los procesos públicos cuando se realiza este tipo de cambios en los carteles?

La UCR realiza las compras por medio de un sistema digital en el que los oferentes suben sus ofertas para que sean analizadas por los técnicos. La diferencia entre la oferta para un proyector de Tipo Tecnología 3LCD (el cual utiliza lámparas de vapor de mercurio) y la tecnología libre de mercurio fue aproximadamente cien dólares. (USD 100)

Descripción del bien, servicio u obra	Unidad	Cantidad	Precio unitario sin impuestos
CÓDIGO : 451116099217683400000003 PROYECTOR DE TECNOLOGÍA 3LCD O HÍBRIDA DE LÁSER Y LED, <u>LUMINOSIDAD NO MENOR A 2500 ANSI, 1m EN MODO DE MÁXIMA BRILLANTEZ Y HASTA UN MÁXIMO DE 3000 ANSI lm, RESOLUCIÓN NATIVA WXGA (1280 x 800 px), Marca EPSON Modelo Powerlite 1780W</u>	c/u	6	1.118
CÓDIGO : 451116099219642400000003 PROYECTOR DE MULTIMEDIA DE RENDIMIENTO INTERMEDIO, VIDA ÚTIL ESTIMADA DE LA FUENTE DE LUZ HASTA 20000 HORAS, <u>CON TECNOLOGÍA LIBRE DE MERCURIO, ES UNA LAMPARA LED, DIMENSIONES 299 mm x 299 mm x 97 mm Y PESO 3,8 kg</u> Marca CASIO Modelo XJ-F211WN	c/u	2	1.251

Figura 13. Comparación de precio entre proyector con mercurio y proyector libre de mercurio.

¿Es posible adquirir tecnología sustituta considerando esta diferencia de valor?

En la ejecución de la compra pública, para determinar la mejor opción se realiza el análisis comparativo de las diferentes características, entre ellas el precio siendo uno de los criterios de evaluación de mayor relevancia. Por ello, si el valor de la opción ambientalmente responsable supera otras opciones, es muy importante contar con criterios técnicos y jurídicos que soporten cualquier decisión. Disponer de jurisprudencia previa es un respaldo significativo, en este caso se contó con un pronunciamiento de la Contraloría General de la República producto de la contratación de una fundación dedicada a la educación pública en nuestro país, en donde aceptaron que las lámparas de vapor de mercurio deben ser excluidas por la ley. Por lo tanto, este tipo de pronunciamientos fue suficiente respaldo legal para los analistas al realizar las compras.

Otra jurisprudencia que sirve de respaldo es la Ley 8839 de la gestión integral de residuos sólidos, vigente desde el 2010, que en su artículo 29 indica que al

menos el 20% de los criterios de evaluación deben ser relativos al tema de compras sustentables. Por tal motivo, si se considera que adquirir productos libres de mercurio busca reducir el impacto a la salud y al ambiente, este criterio puede incluirse como criterio de admisibilidad; de lo contrario, como criterio de evaluación, tiene al menos 20% de puntaje en el proceso de evaluación. Por tanto, en este proceso, la oferta para aquellos proyectores libres de mercurio, aunque tuvieron un mayor costo, resultó ganadora por el puntaje significativo al criterio ambiental.

Como se señala anteriormente, existen varios artículos en la Institución con mercurio añadido. En el caso de las lámparas fluorescentes compactas y las fluorescentes lineales, que contienen mercurio, el Convenio de Minamata y la Ley de Ratificación indican que estas deben tener menos de 5 miligramos por unidad. Se verificó que en el proceso de adquisición de luminarias esta especificación técnica estuviera incluida.

En algunos casos esta característica se indica en la caja del producto, sin embargo, también se debe pedir la ficha técnica del producto al proveedor para que el analista pueda revisarla y cerciorarse de que no contiene una cantidad de mercurio superior a la reglamentada.

En Costa Rica las lámparas lineales se han ido sustituyendo por artículos más eficientes, como las lámparas lineales de tubo fluorescente T8, las cuales también cumplen con el contenido de mercurio señalado por la ley.



Figura 14. Verificación del contenido de mercurio presente en las lámparas adquiridas.

El criterio de eficiencia energética es importante como respaldo legal, por medio de la Directriz número 11 del MINAE.

En la Universidad de Costa Rica también se utilizan equipos de iluminación en zonas externas y en el estadio, los cuales tienen un alto contenido de mercurio. Por este motivo, desde el 2017, la institución fue sustituyendo toda la luminaria externa por iluminación LED, lo cual es todavía más positivo que sustituirla por luminarias que cumplan con el mínimo de mercurio establecido. Aunque sabemos que las lámparas LED, en comparación con lámparas fluorescentes, son bastante más caras, a la larga, durante toda la vida útil, se recupera esa inversión, por lo tanto, es posible convencer a la administración sobre estos asuntos, pues a nivel económico la luz LED resulta más rentable.

¿Qué pasa con los desechos de esos artículos en la institución?

En la UCR, desde el 2013, se cuenta con un instructivo para el desecho de fluorescentes. En este se presenta un procedimiento sobre cómo se debe tratar el fluorescente o el bombillo y cómo se debe empacar para ser llevado a una bodega acondicionada para recibir esos materiales. Posteriormente, se realiza un manejo con un gestor autorizado.

El mercurio es un material peligroso para el ambiente y la salud, de modo que, al ser liberado, se debe seguir un debido procedimiento. Por ejemplo, si el fluorescente o el bombillo se quiebra en la instalación de la Universidad, este procedimiento indica cómo se tiene que limpiar y ventilar el área. No obstante, este material debe ser cambiado como una unidad completa se lleva a la bodega de la institución, y desde ahí se lleva a un gestor autorizado. Esto tiene un costo, y la Universidad ha asumido ese costo como parte de su responsabilidad social, así como el valor de la gestión de todos los restantes residuos que se producen en la institución.

Otro potencial residuo asociado al mercurio es la generación de amalgamas. La UCR cuenta con la Facultad de Odontología, y brinda servicios al público general además del ejercicio docente. Sin embargo, desde hace bastantes años se emplean nuevas tecnologías, como las resinas, para evitar el residuo peligroso generado a partir de este proceso. Si se generara este residuo por alguna situación, la Facultad cuenta con los protocolos necesarios para hacer una gestión adecuada, esto no se realiza solamente debido a la peligrosidad del mercurio, sino porque estos desechos son bioinfecciosos debido a que han estado en contacto con los pacientes.



Figura 15. Sustitución de amalgamas con mercurio por resinas.

Las baterías que se utilizan en los equipos no contienen mercurio, pero son gestionadas como un residuo especial, y se cuenta con campañas específicas para la separación de las mismas.

En cuanto a los plaguicidas e insecticidas, la institución ha realizado una transición hacia productos de banda verde, sin embargo, aún hay presencia de algunos artículos que contienen mercurio, tal como el glifosato. No obstante, desde el año 2018 el Consejo Universitario de la Universidad de Costa Rica, emitió una directriz para evitar su uso en zonas verdes y áreas compartidas, limitándolo solo para procesos de investigación.



Figura 16. Restricción en el uso de glifosato en las instalaciones de la UCR.

Fuente: UCR, Andrea Jiménez.

Asimismo, para cualquier otro artículo en la institución que pueda contener mercurio, gestiona el criterio técnico de la Regencia Química Institucional, que siempre está atenta a generar directrices para su correcta disposición y manejo.

Estos son algunos de los ejemplos, en los que quedan manifiesto que la Universidad de Costa Rica continua con su compromiso con la educación y la salud ambiental para el control en el uso del mercurio y otras sustancias, desde una labor conjunta con las sedes, las unidades académicas, las instancias de investigación, los equipos de trabajo, la Unidad de Gestión Ambiental y las comisiones que desarrollan procesos afines al conocimiento, cuidado integral, protección del ambiente y la educación ambiental.

Capítulo IV

Educación en salud ambiental; un aporte de la Red Costarricense de Instituciones Educativas Sostenibles

Gerlin Salazar Vargas⁴

Manrique Arguedas Camacho⁵

En Costa Rica existe la Red Costarricense de Instituciones Educativas Sostenibles (REDIES), que se conforma gracias a la convocatoria a nivel nacional de las instituciones de educación superior, realizada por la Universidad EARTH para valorar las oportunidades de trabajar en la mejora de la sostenibilidad de los campus universitarios. Esta red es un espacio muy interesante porque consiste en una alianza de instituciones públicas y privadas de educación costarricense.

Su misión es lograr el compromiso de las autoridades de las instituciones educativas participantes de la Red para alcanzar la sostenibilidad de sus campus. Día a día se reciben miles de estudiantes en estos entornos, por ello se quiere que estos adquieran la mejor enseñanza sobre cómo hacer más sostenibles sus espacios, desde cualquiera que sea su ámbito laboral en un futuro.

⁴ *Universidad de Costa Rica. Gestora Ambiental de la Unidad de Gestión Ambiental (UGA). Máster en Gestión de Recursos Naturales y tecnologías de la producción.*

⁵ *Universidad del Trópico Húmedo EARTH. Coordinador de la Red costarricense de Instituciones Educativas Sostenibles (REDIES) y Coordinador de la Unidad de Acción Ambiental de la Universidad EARTH.*

REDIES tiene 11 años de existir, desde el 2010 cuando se firmó el convenio para su creación, desde entonces se han implementado adhesiones a redes iberoamericanas, mesoamericanas y mundiales. Igualmente, se ha trabajado en foros para lograr sensibilizar al público general, y se han implementado mecanismos de sistematización y medición por medio de indicadores de diferentes rangos para evidenciar el compromiso de las instituciones en materia de sostenibilidad.

En 2016, REDIES realizó una publicación de buenas prácticas ambientales desde el Consejo Nacional de Rectores, el cual reúne a las universidades públicas de Costa Rica. Durante el 2018 se realizó un diagnóstico de los Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS) en las instituciones adheridas a la red, lo cual ha permitido que las instituciones adheridas visualicen estos objetivos y consideren cómo incluirlos dentro de sus plane institucionales de acción o planes estratégicos.

Las 18 instituciones adheridas a la red reúnen a más de 200.000 estudiantes activos por año, y representan las instituciones públicas y privadas de educación superior, y el Instituto Nacional de Aprendizaje (INA) que es un instituto de educación técnica. De esta manera se logra cubrir la mayor parte de los procesos de formación superior y técnica del país.



Figura 17. Logos de las instituciones adheridas a REDIES.

Fuente: REDIES

¿Qué acciones conjuntas ha logrado implementar la red?

El trabajo de REDIES ha sido muy amplio en esta década, su carácter voluntario no conlleva un pago de membresía por parte de las instituciones adheridas. Cada miembro participa brindando su trabajo y recursos cada vez que se tiene la oportunidad. No obstante, la Red ha logrado desarrollar foros nacionales, trabajos de investigación y trabajos en comisiones nacionales, por ejemplo, la alianza con la Red para Disminución de Pérdida y Desperdicio de Alimentos, lo que ha llevado investigaciones conjuntas.

Debido a que no todas las instituciones cuentan con una unidad ambiental, se ha generado una sinergia muy interesante en el equipo, que ha permitido el intercambio de saberes teórico-prácticos.

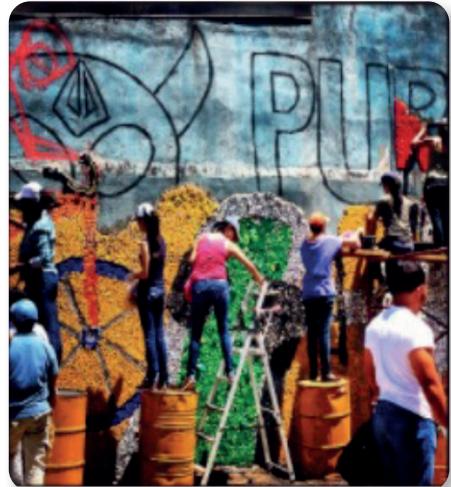
Un ejemplo muy importante de las actividades de proyección de REDIES fue el proyecto EcoRomería, que se realiza desde el 2011, en conjunto con las universidades e instituciones miembros, para el que se han aportado más de 3000 voluntarios con el fin de que colaboren y guíen a los peregrinos en el manejo de sus residuos sólidos en La Romería (un proceso de peregrinación por motivos de fe y cultura hacia la provincia de Cartago, en honor a la celebración de la fiesta de la Virgen de Los Ángeles, patrona de Costa Rica). Esta actividad reúne más de un millón de personas una vez al año. El trabajo de REDIES con los voluntarios es brindar un proceso de educación a la población, y evitar que los residuos queden en el camino de peregrinación, haciendo una gestión adecuada de los mismos.



Figura 18. Voluntarios en la EcoRomería, 2018.

Fuente: REDIES

Otra actividad relevante de la red es su participación, desde el 2013, en la Semana del reciclaje. Diversos profesionales y técnicos han participado en charlas y en procesos de educación sobre el tema de residuos. Además, todos los años se celebran conjuntamente algunas efemérides ambientales, entre ellas: el Día del Ambiente (5 junio), el Día Mundial sin Autos (22 setiembre), el Día de la Tierra (22 abril) y el Día del Agua (22 marzo), así que se coordinan acciones para sensibilizar a los estudiantes y la población docente-administrativa de nuestras instituciones.



Figuras 19 y 20. Participación de la REDIES en la semana del reciclaje.

Fuente: REDIES.



Figura 21. Celebración de efemérides ambientales.

Fuente: REDIES.

Durante años se han seleccionado dos comunidades externas a la Gran Área Metropolitana para llevarles procesos de educación en temas ambientales. En el 2019 varios miembros de REDIES participaron en procesos de educación en dos zonas remotas de Costa Rica, incluyendo un área restringida a comunidades indígenas.

REDIES también es parte de la Asociación de Análisis del Ciclo de Vida del país, en donde, en el 2019, se realizó un congreso de reflexión sobre estas temáticas, en especial porque las instituciones cuentan con profesionales y expertos en estas materias.

De igual forma, desde el 2017 REDIES participa en la Red Nacional para la Disminución de Pérdida y Desperdicio de Alimentos (Red PDA), en donde se impulsa la medición de este indicador, no sólo para medirlo, sino para establecer mecanismos de sensibilización para las comunidades universitarias y así reducirlo.



Figura 22. Participación de miembros de REDIES en las reuniones de la Red de Disminución de Pérdidas y Desperdicios de Alimentos.

Fuente: REDIES

REDIES es un espacio muy interesante de alianzas entre el sector público y privado, por ejemplo, esta red está asociada con el Ministerio de Educación Pública de Costa Rica, el proyecto ENLACE de la UCR, el Grupo VICAL (que es una de las empresas encargadas de fabricar el vidrio en Costa Rica), con Cero Residuos, Coopeservidores y la empresa SUSTY. Con esta última, por ejemplo, se han coordinado procesos de sensibilización dirigidos a hogares, para que estos puedan medir las variables ambientales, y registrar las buenas prácticas en un sistema en línea.

Un aspecto relevante de la Red, es que todas las instituciones adheridas realizan una medición anual de indicadores, que incluye la gestión de: recursos hídricos, energéticos, carbono neutralidad y la gestión de residuos sólidos. Cuando se hace la medición de estos indicadores, se evidencia el compromiso de la institución hacia su gestión adecuada y hacia la sustentabilidad. Particularmente con el tema del mercurio, este se asocia a la gestión de residuos.

En el gráfico de la figura 23 se puede observar el grado de cumplimiento de las instituciones en la presentación de los indicadores. Estos resultados no pretende ser un ranking entre las instituciones participantes, sino que busca que las mediciones sirvan a nivel interno y procuren la mejora continua de cada una de las instituciones adheridas en su desempeño ambiental.

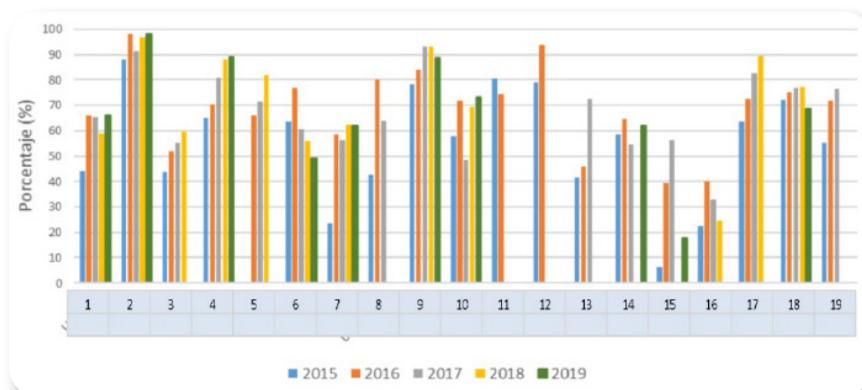


Figura 23. Porcentaje de cumplimiento de los indicadores ambientales de las organizaciones adheridas a REDIES para los años 2015-2019.

Fuente: REDIES

En el gráfico de la figura 24 se muestran de manera más detallada las áreas de evaluación de los indicadores y cuáles son las áreas que tienen un menor porcentaje de cumplimiento, siendo la carbono neutralidad y la gestión de aguas residuales los temas más sensibles en los procesos de medición y de reporte de indicadores, lo cual es semejante a la realidad nacional.

Particularmente en el tema de gestión de residuos, hay un amplio cumplimiento por parte de todas las instituciones adheridas (desde el 2015), lo cual evidencia las buenas prácticas en la gestión de residuos implementadas.

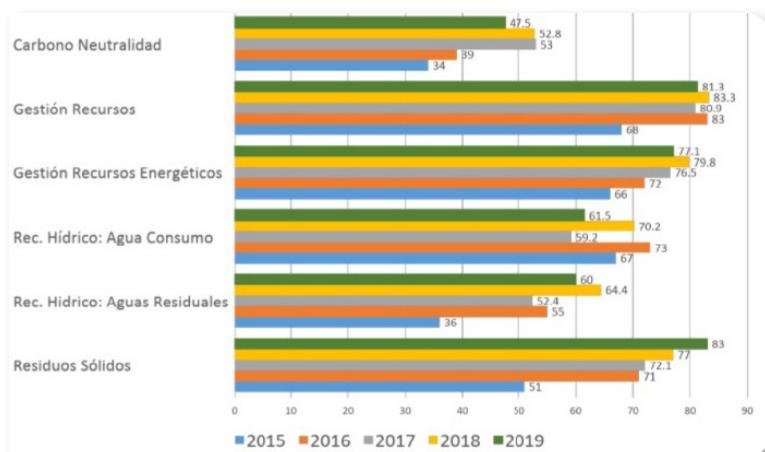


Figura 24. Comparación del porcentaje de cumplimiento de los indicadores ambientales por área de las organizaciones adheridas a REDIES, para los años 2015-2019.

Fuente: REDIES

Sobre el tema del mercurio, dentro de la Red se han realizado procesos de capacitación interna a los miembros para que sensibilicen sobre el impacto de este metal en las actividades diarias, la salud y el ambiente. También se han compartido carteles de licitación de las instituciones públicas en el caso de adquisición de luminarias y equipos de proyección, con el fin de compartir ideas sobre cómo implementar en sus propias instituciones. Del mismo modo, se ha compartido la experiencia de las instituciones públicas con proveedores de tecnologías sustitutas para ofrecer diversos productos, esto con el fin de que cada institución pueda valorar internamente la oferta. De esta manera las instituciones de educación superior han presentado algunos ajustes en sus procesos de compra.

Entre las oportunidades de mejora identificadas a lo largo del trabajo de la Red, es importante mencionar la necesidad de fortalecer las capacidades de los miembros representantes y en la medida de las posibilidades mantener un proceso de capacitación constante.

Otra oportunidad de mejora es fortalecer la recolección y sistematización de los indicadores ambientales de las instituciones público-privadas, de manera que esta información pueda ser referencia con la menor incertidumbre y pueda guiar procesos de sensibilización y cambio de hábitos a nivel interno en las instituciones.

Además, se ha identificado como oportunidad de mejora poder ampliar canales de comunicación para transmitir nuestros logros e invitar a nuevas personas e instituciones a ser aliados y miembros de la red.

Existen retos importantes que corresponden a las instituciones asumir, por ejemplo, el apoyo de las altas direcciones en los procesos de sensibilización acción y contenido económico a los temas de sostenibilidad, pues generalmente los recursos para esta área pueden ser cercenados en alguna recesión económica, por ello hay que darle un valor significativo a estos procesos para evitar que esto se presente, lo cual evidenciaría el compromiso de las instituciones adheridas.

El objetivo es lograr un mayor compromiso, no solo de parte del representante de la institución adherida a la Red, sino por parte de todos los miembros de la comunidad universitaria en las actividades que se organizan, pues la idea es que estos mensajes de sensibilización lleguen a todos los estudiantes y funcionarios de las instituciones miembro. También se busca una mayor colaboración de las autoridades universitarias para el desarrollo de proyectos de investigación en la gestión ambiental institucional, pues las instituciones representadas se caracterizan por investigaciones de calidad y relevancia nacional por lo que es valioso generar una conexión entre ellas y las unidades de ambiente o que tienen a cargo la gestión ambiental interna, y así para maximizar la comunicación con la comunidad nacional.

Esta alianza es muy importante como mecanismo para maximizar el alcance y el nivel de sensibilización de todas las campañas, acciones ambientales y trabajo conjunto que se puede liderar en las instituciones hacia la comunidad nacional.

Capítulo V

Prácticas saludables en organizaciones: Proyectando el futuro

Mauricio García Hernández⁶

ASEPRO Centroamérica es representante de varias marcas de proyectores que no utilizan lámpara para su funcionamiento y han estado involucrados en la tarea de eliminar el uso de mercurio en los ambientes comunes desde hace aproximadamente diez años.

La fábrica Casio, en el 2010, tomó la determinación de hacer un cambio radical en un producto que es muy utilizado en escuelas y colegios, tanto con niños y jóvenes como con adultos, estos son los proyectores multimedia, los cuales tienen un diseño muy especial, de hecho, fueron una tecnología revolucionaria en la que nadie creyó en un principio. Este producto se desarrolló hace 10 años y precisamente, para ese momento, el convenio de Minamata ya se venía discutiendo.

Minamata es una ciudad de Japón que, en 1956, se vio afectada por una fuerte contaminación de mercurio. Por este motivo, al percatarse años después, se inició un movimiento en contra de la utilización del mercurio para poder evitar este tipo de catástrofes.

El convenio de Minamata se firmó en el año 2013 entre muchos países a nivel mundial, y en octubre del 2016 se promulgó la ley 9391 en Costa Rica, que básicamente contempla todo el convenio textualmente, ya que es un convenio internacional aprobado por Costa Rica.

6 *Asociación ASEPRO de Centroamérica, Gerente General.*

¿Por qué a ASEPRO, como empresa privada, le interesa eliminar el uso del mercurio?

El mercurio inorgánico es el mercurio que se encuentra en los termómetros, y con el que se veía a los niños jugar cuando se rompía una ampolleta de temperatura, este es el mercurio elemental. Este químico no es tan problemático, de hecho, muchas personas tienen amalgamas que contienen mercurio y las han tenido por años. Sin embargo, el mercurio adquiere una característica preocupante cuando es procesado por bacterias. Si se deshecha el mercurio elemental, la tierra lo absorbe y dirige hacia las fuentes de agua internas donde se encuentran bacterias, las cuales procesan ese mercurio. Posteriormente, se generan diferentes compuestos, entre ellos el metilmercurio, que lamentablemente es el compuesto más abundante.

De esta manera, un miligramo de mercurio puede producir hasta 1.4 miligramos de metilmercurio. Esto es importante porque el metilmercurio es venenoso y problemático. 5 miligramos de mercurio elemental por 70 kg de masa corporal se considera envenenamiento, por lo tanto, una cantidad muy baja ya se estima peligrosa; y entre 150 y 300 miligramos de mercurio elemental por 70 kg de masa corporal se considera una dosis letal.

Según el Instituto Tecnológico de Costa Rica, acerca de las consecuencias del metilmercurio, al absorber 25 miligramos ya se puede sufrir de disestesia, que es una discapacidad en el tacto. Con 50 miligramos se tienen trastornos de marcha, y óseos, de hecho, debido a esto se descubrió en Minamata la contaminación por mercurio, ya que, cuando los científicos estudiaron por qué la gente presentaba problemas, se dieron cuenta de que había grullas que caminaban torpemente, y al analizar su sangre, confirmaron que contenía mercurio. Con ello supieron que la contaminación fue causada por el mercurio, más específicamente, el metilmercurio.

Como se ha indicado en capítulos anteriores, la ingesta es uno de los mayores problemas, los seres humanos se contaminan mayormente a través de los peces, debido a que manipulan el ciclo del mercurio y este cae en la base del suelo, allí se consume y pasa desde las fuentes de agua hasta el mar, donde se encuentran las bacterias, y se inserta en la cadena alimenticia, en especies como el atún, los tiburones y otros peces grandes de los que algunas personas se alimentan constantemente y de donde deriva la contaminación.

Definitivamente, se busca el control del uso de este tipo de contaminantes; aunque el mercurio como tal no es el problema, incluso tampoco lo sería el metilmercurio, sino cómo se manipula y qué se hace con él.

En el caso de ASEPRO, como empresa privada, viene trabajando desde hace 10 años con los proyectores multimedia. Las lámparas de los proyectores multimedia contienen una cantidad importante de mercurio en su forma elemental y en vapor a alta presión. A nivel de salud ocupacional, la OMS y varias organizaciones encargadas de la salud han dado los siguientes números:

El límite de exposición ocupacional al mercurio elemental por inhalación es de 9 microgramos por metro cúbico, es decir, nueve partes por millón, por lo tanto, se está hablando de una cantidad realmente muy baja. Si una persona se expone a esa cantidad de mercurio, podría experimentar un temblor en las manos y desórdenes en la memoria.

Por otro lado, el límite para el mercurio inorgánico es de 4 microgramos de mercurio por kilo de masa corporal. Ahora bien, sobre este aspecto se debe definir cuál es el mercurio inorgánico y cuál el orgánico; el orgánico es un mercurio que ya pasó por la etapa de descomposición, por lo tanto, aparece a nivel natural en otros componentes como el metilmercurio, etilmercurio, entre otros; mientras que el inorgánico es elemental, es el elemento puro. El manejo de este último no es tan complicado, a diferencia del metilmercurio, cuyos límites máximos de exposición han ido disminuyendo gradualmente desde el año 1972, cuando se empezó a descubrir la toxicidad de este tipo de compuesto.

De hecho, el PTWI (Provisional Tolerable Weekly Intake), que se refiere a la ingesta tolerable semanal de mercurio para un ser humano, por recomendación la Organización Mundial de la Salud (OMS), en un inicio era de 3.3 microgramos de metilmercurio por masa corporal; sin embargo, en 1989 fue de 1.6, y en el 2012 pasó a 1.3 microgramos, de acuerdo con lo aceptado por la OMS. Es importante señalar que, al ser microgramos, las cantidades que se están tolerando son muy pequeñas.

Todos estos datos, que se han venido actualizando desde el 2012, han sido vistos y aprobados por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), y se pueden verificar en su página web.

La empresa ASEPRO se ha dedicado durante los últimos diez años a promover equipos libres de mercurio, y la fábrica Casio decidió involucrarse en esta tarea.

Capítulo VI

Eliminación de las lámparas de mercurio: un cambio posible

Carlos Carvajal Benavides⁷

Cuando se redactó el convenio Minamata, se intentaron establecer cuáles eran los dispositivos que tuviesen mercurio que estaban al alcance de las personas. En aquellos momentos no existía ningún sustituto para la lámpara de mercurio, entonces, no había ninguna forma de que, para esa necesidad de mercado, algo pudiera suplantarla y diera el mismo rendimiento. Sin embargo, en el 2010, la empresa Casio comenzó el desarrollo de una tecnología libre de mercurio y la lanzó al mercado.

Según la organización encargada del manejo de sustancias venenosas en Europa, una de las autoridades más respetadas, por el único motivo que ellos siguen aceptando que los proyectores usen lámparas de mercurio es porque no hay un sustituto para esta tecnología, y, al no haberlo, prohibirlas dejaría un gran vacío en esa necesidad de mercado. Por esa razón, lo usual es utilizar lámparas de mercurio, pero se debe tener mucho cuidado cuando se desechan, esto debe realizarse de una forma responsable para que se puedan procesar y el mercurio no llegue al subsuelo y se transforme en metilmercurio.

Se sabe que las cantidades de mercurio que contienen las lámparas de los proyectores son realmente importantes. Por lo tanto, se ha invitado a la empresa privada de este país a que se una a este esfuerzo y evite el uso de este tipo de

⁷ Representante de empresa privada

lámparas que, como se explicó anteriormente, tienen consecuencias para la salud con las que se debe tener precaución

Es muy importante mencionar que Costa Rica siempre ha tenido liderazgo en materia ambiental, esto le ha permitido tener un terreno más fértil para que iniciativas público-privadas relacionadas con la protección del ambiente se lleven a cabo.

Actualmente existen instituciones importantes que se están tomando muy en serio iniciativas como el control del mercurio en la tecnología. Cada gobierno ajusta los lineamientos del Convenio de Minamata a la realidad de cada país. Por este motivo, instituciones como la Dirección General de Calidad Ambiental (DIGECA) (en el caso de Costa Rica) son encargadas de llevar a cabo la implementación del convenio.

En el momento que se creó el Convenio de Minamata existía un ambiente distinto al actual (2020), era una etapa diferente en la que algunas tecnologías no estaban disponibles para ser utilizadas como sustitutas en productos con mercurio. Sin embargo, desde el 2010 compañías como CASIO han sido pioneras en la utilización de tecnologías de estado sólido, y han permitido un cambio para no utilizar proyectores con lámparas de mercurio, ya que las lámparas contienen este químico en una cantidad importante y muy peligrosa para el ser humano.

Dado esto, DIGECA ha venido realizando pasos importantes y consecuentes con la directriz del país, la cual busca que las tecnologías sean más limpias y seguras para los usuarios, sobre todo en el área educativa. También algunas instituciones privadas han dado pasos muy importantes, tanto en la parte educativa como en la corporativa, para un cambio de tecnologías.

Es por esto que DIGECA ya ha anunciado, mediante documentos oficiales de parte de la dirección, que está gestionando con el Ministerio de Hacienda el cambio y la implementación de un reglamento para restringir el equipamiento que contiene mercurio. Por lo tanto, se espera que las compras que se realicen a corto plazo sean tecnologías libres de mercurio.

Este no es solamente un tema de protección a la salud de las personas, sino que con ello también se protege al medio ambiente y resulta beneficioso para el bolsillo de los ciudadanos y la inversión de las instituciones, pues se evitaría que se gasten miles de dólares en repuestos por utilizar tecnología obsoleta.

De hecho, todo el mercado y todos los fabricantes están, de una u otra forma, dando pasos muy certeros para poder cambiar la tecnología. A la tecnología obsoleta o antigua de las lámparas de mercurio no le queda más de un año.

El cambio de este tipo de tecnología obsoleta por tecnología segura permite ahorrar el 50% del consumo eléctrico y elimina gastos por mantenimiento, lo que

posibilita que las instituciones públicas ahorren miles de dólares al no tener que hacer cambios frecuentes de unidades, ya que estas unidades de estado sólido toleran un largo periodo de utilización.

Como se ha mostrado, DIGECA está haciendo un esfuerzo muy importante para que los cambios se den cuanto antes, aunque existen algunos periodos que se están adaptando a una nueva realidad provocada por los efectos globales de la COVID-19.

En cualquier caso, ya se ha progresado bastante para que, a corto plazo, este cambio sea una realidad en Costa Rica. Por ejemplo, una de las instituciones de educación superior pública más importantes de nuestro país, la Universidad de Costa Rica, ha cambiado todos sus estándares para pedir unidades de estado sólido libres de mercurio.

Es importante puntualizar que no se está favoreciendo a un cierto grupo de marcas, sino que se busca colaborar con los intereses de las instituciones públicas y del gobierno para que inviertan en tecnología de punta que ahorra en muchos aspectos, además de brindar seguridad e higiene ocupacional y salud para el ser humano. Este tipo de compras no se están direccionando a una sola vía, pues hay varios fabricantes que producen equipo de alta tecnología de estado sólido.

Al igual que la Universidad de Costa Rica, otra insignia de la educación pública, el Tecnológico de Costa Rica, ya realizó este paso, también lo hicieron el Ministerio de Seguridad Pública y el Ministerio de Educación, que en muchísimos de sus programas implementó el uso de tecnología de estado sólido.

Evidentemente, cuando las tecnologías se vuelven obsoletas, bajan sus precios. Sin embargo, en el caso de CASIO, que tiene más de 10 años de experiencia en este campo, ha permitido que también las tecnologías de punta, como el estado sólido, tengan precios totalmente accesibles para las instituciones.

Una institución que ha iniciado el cambio es la Caja Costarricense del Seguro Social, que protege la salud en todos los ámbitos. Asimismo, tomaron la decisión de cambiar el Poder Judicial, el Fondo Nacional de Telecomunicaciones (FONATEL), la Fundación Omar Dengo y Acueductos y Alcantarillados (AYA).

En cuanto a las instituciones de educación privada, se encuentra la Universidad Castro Carazo, la Universidad de las Ciencias Médicas (UCIMED), la Universidad Latina de Costa Rica, Procter And Gamble, SYKES, el Centro Cultural Costarricense Norteamericano y muchísimas otras empresas corporativas que prefieren utilizar tecnologías eficientes y amigables con el ambiente.

Finalmente, es importante mencionar que Centroamérica está liderando este consumo de tecnología de estado sólido. Existe una extensa cantidad de empresas costarricenses y de la región centroamericana que pueden brindar a excelentes precios este tipo de tecnología, la cual permitirá un progreso para no tener que utilizar más mercurio en los diversos espacios de las instituciones.

Tampoco se debe dejar de lado que este es un proceso histórico para el entorno tecnológico. Es un proceso de cambio que inició hace más de diez años con la intención de cambiar la expectativa de un mercado y de una tecnología que tiene muchos más tiempo de estar utilizándose para la educación, este esfuerzo consistió en apostar por la seguridad y el medio ambiente. En un principio, se veía un panorama muy difícil, pero en el 2020, es posible decir que se han salvado miles y miles de litros de agua al no utilizar el mercurio en las actividades relacionadas con los procesos de educación.

Capítulo VII

En el uso adecuado y responsable de residuos y de metales como el mercurio, se encuentra nuestra capacidad de hacer un cambio

Edwin Leitón Zúñiga⁸

Las posibilidades que dan las normas e incentivos, a través de matrices globales y nacionales para poder ser más eficientes en el tema de la misión ambiental, se pueden materializar, por ejemplo, en ser más competitivos al trabajar en proyectos de Gobierno, y poder ponderar más puntos para calificar en una oferta pública. Además, desde la perspectiva del consumidor, iniciativas como la bandera azul influyen en que este prefiera una institución que tenga dicha certificación a una que no haga mayor cosa en temas ambientales.

Aunque se podría tener una actitud negativa hacia estas normas y considerarlas obstáculos, también pueden verse como una oportunidad. Este esfuerzo no se puede quedar solamente en las aulas de las instituciones académicas, también tiene que permear completamente a todo el ecosistema de la sociedad.

Vortex Centroamérica es una compañía costarricense de tecnologías de información con casa matriz en Argentina que está iniciando operaciones en Costa Rica. Muchos de sus productos contienen metales pesados y peligrosos como el

8 *Vortex Centroamérica, Gerente de nuevos negocios*

mercurio, esto los obliga a tener una percepción diferente, no solamente para actuar con respecto hacia la sociedad, sino también a nivel interno, en su propio entorno, buscando la manera de permear mensajes ambientales a sus colaboradores.

Al adquirir cualquier producto, el consumidor observa que los empaques tengan algún tipo de certificación,(ver figura 25) principalmente la de reciclaje, que es la más común. Tal como las pajillas utilizadas en los restaurantes, que ahora se busca que sean biodegradables o simplemente no se utilicen. Esto se debe a que, desde hace algunos meses, existe un esfuerzo por erradicar en Costa Rica todo el plástico de un solo uso; pero esos esfuerzos no son suficientes, se debe ir todavía más allá. La diferencia se encuentra en un cambio en los hábitos y conducta de las personas, no solo cuando van a un restaurante o acuden al supermercado, también es importante cambiar la conducta hacia un producto altamente contaminante como los proyectores.



Figura 25. Logos presentes en los productos reciclables o biodegradables.

Con el progreso en el cambio de la tecnología de los proyectores hacia dispositivos libres de mercurio, se es congruente con dos aspectos: 1) el cambio de conducta del consumidor, quien podrá optar por tener un ambiente más limpio, y 2) la presión normativa, ya que desde que Costa Rica firmó y empezó a actuar alrededor del convenio de Minamata, se tomaron acciones en este sentido.

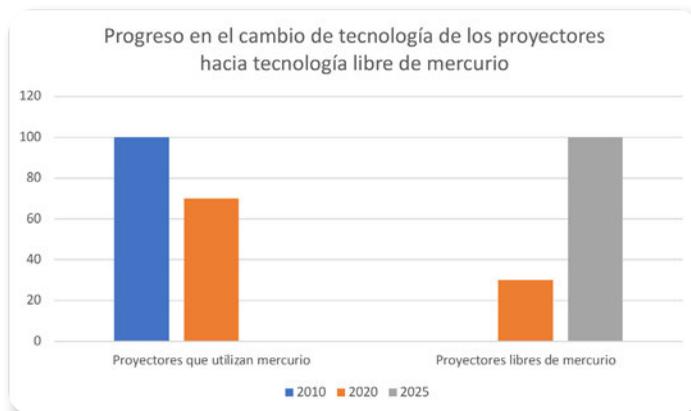


Figura 26. Cambio en el tiempo respecto al consumo de proyectores en Costa Rica.

Fuente: Elaboración propia

En el caso de los vehículos, por ejemplo, no existe una normativa para eliminar los vehículos de combustión, aunque actualmente haya intención de hacerlo en muchos países del mundo, por lo que hoy en día todos podemos adquirir este tipo de vehículos. Sin embargo, la tendencia del consumidor ha marcado una diferencia con respecto a esta tecnología.

Dicho esto, un país tan grande como Brasil, de más de 200 millones de habitantes, tiene una tasa de solamente 0,9 vehículos eléctricos importados por cada millar de personas en el 2018, esto quiere decir que se importaron apenas un poco más de 200 vehículos (Ver figura 27). Por otro lado, afortunadamente en Costa Rica se importaron 73 vehículos, y es importante mencionar que, para la fecha, no habían entrado en vigencia los incentivos y exoneraciones para esta tecnología. A partir de esto se puede interpretar que, por economía y por conciencia social, existe un cambio de hábito y de conducta en el consumo de bienes en Costa Rica.



Figura 27. Cantidad de vehículos nuevos importados durante el año 2018 en los 5 países que más importaron durante ese año.

Es muy importante indicar que no todo lo amigable con el ambiente es más caro, pues existen beneficios a corto, mediano y largo plazo cuando se adquieren productos más amigables con el ambiente.

Siguiendo en la línea de los automóviles, entre las 5 marcas más valiosas de esta industria, Toyota, con todo su potencial, sus vehículos pesados, médicos, industriales y para construcción, tiene el mayor valor, con 28,3 miles de millones de dólares. Más abajo se encuentra Tesla, esta es una marca muy particular y un caso de estudio, ya que cuenta solamente con 4 modelos de vehículo y ya se coloca en cuarto lugar, con un valor de marca de 11,3 miles de millones de dólares. Resulta interesante ver que, entre todas las marcas más valiosas, únicamente Tesla no ha reducido el valor de su marca en el año 2020 (Ver figura 27).



Figura 28. Valor de las marcas de autos en miles de millones de dólares.

Fuente: Logos de empresas Toyota, Mercedes Benz, BMW, Tesla, Ford.

Tesla nace en el 2003, y ahora, con solo 17 años y produciendo solamente vehículos eléctricos, ya es una compañía madura, cuarta en valor de marca y está construyendo la mayor planta automotriz de Europa. Esto evidencia un cambio de conducta en la población, y si es posible hacerlo hasta ese nivel, también es posible desde el nivel más bajo. La responsabilidad para lograr un cambio no es únicamente de los gobiernos, ni de los educadores o de las instituciones, sino de todas y cada una de las personas.

Antes de los incentivos gubernamentales, muchas empresas tenían planes o modelos de voluntariado que consistían en limpiar ríos, parques, y hacer campañas de recolección de desechos, a menudo con beneficios como alimentación y transporte para los voluntarios.

Por otro lado, también existen casos como el grupo de senderismo de la comunidad de Tejar del Guarco llamado Nido de Halcón. Este es un grupo de personas muy heterogéneo en cuanto a sus edades, hay tanto jóvenes veinteañeros como

personas de la tercera edad. Haciendo senderismo notaron que, en las montañas, donde no debería encontrarse basura, había demasiados desechos, como botellas de hidrantes y empaques de gel energético, productos que normalmente ingiere un deportista, no un agricultor. Entonces, tomaron la situación en sus manos y empezaron a realizar actividad de recolección cada vez que hacían senderismo, como un esfuerzo para recoger la basura. Pero no se quedaron ahí, también han estado en varias campañas de limpieza de ríos e interactuaron con la municipalidad del Guarco para crear campañas de recolección de residuos no tradicionales.



Figura 29. Grupo Nido de Halcón, de Tejar del Guarco. Fuente: Leitón (2020)

Está en nosotros tomar esas decisiones, no es una responsabilidad institucional, no es una responsabilidad estatal, no es una responsabilidad única del gobierno local, es una responsabilidad de todos. Es importante el entendimiento sobre las sustancias peligrosas y cómo se manipulan, desde el mercurio hasta un plástico de un solo uso. En un manejo responsable se encuentra nuestra capacidad de hacer un cambio.

Capítulo VIII

La indagación sociocientífica sobre la minería: una experiencia afectiva en la formación docente

*Diego Armando Retana-Alvarado⁹
Antonio Alejandro Lorca-Marín¹⁰*

En la última década se evidencia un interés profundo por parte de diversas organizaciones internacionales en relación con ofrecer una educación científica que permita a las personas jóvenes asumir una actitud responsable ante los problemas ambientales. Esto implica no solo disponer de un conocimiento científico sobre el entorno sino también expresar afectos como la empatía y emociones positivas para atender las necesidades tan apremiantes que enfrenta la humanidad.

Mellado y otros (2014) hacen referencia a que las emociones asumen un papel preponderante en los procesos de aprendizaje. Desde la neurociencia está claro que estas emociones ayudan a que la persona pueda tomar decisiones ante diferentes circunstancias, y esa generación de sinapsis neuronales permite precisamente potenciar el aprendizaje del ser humano.

9 *Universidad de Costa Rica, Profesor e investigador en didáctica de las ciencias naturales. Coordinador de la Sección de Educación Primaria.*

10 *Universidad de Huelva, España. Profesor e investigador en didáctica de las ciencias experimentales*

En el marco de esa línea de investigación, sobre dominio afectivo y social en didácticas específicas, en particular, en Didáctica de las Ciencias Naturales, se han realizado diversos estudios centrados en diferentes perspectivas (ver figura 30), por ejemplo, las emociones que los estudiantes experimentan hacia las asignaturas, hacia los contenidos científicos, las creencias de autoeficacia y el género.

Por otro lado, también se ha trabajado en intervenciones didácticas para potenciar el conocimiento profesional docente y el desarrollo de las competencias emocionales, tales como el bienestar en su perspectiva personal y social.

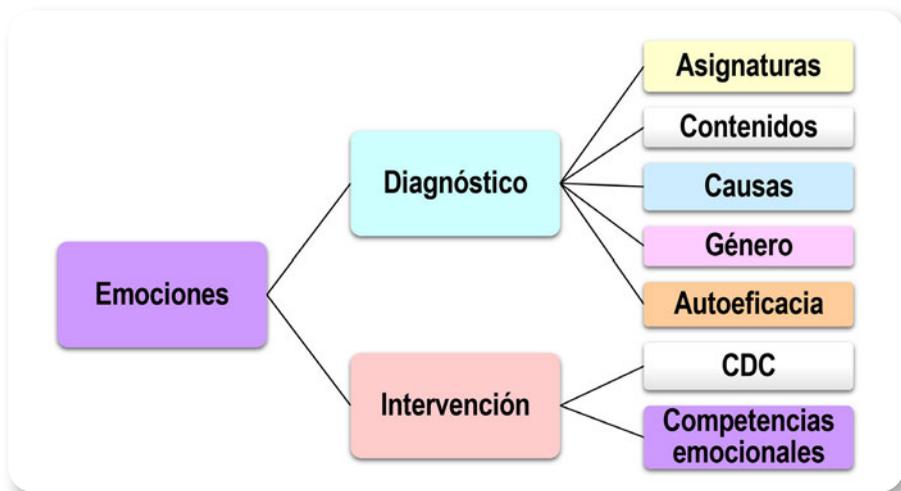


Figura 30. Emociones en la didáctica de las Ciencias Experimentales.

Fuente: Retana (2018)

Un concepto clave en la educación científica, que proviene de la Unión Europea, corresponde a la alfabetización científica (figura 31), este es el constructo que se promueve para fomentar la capacidad de toma de decisiones ante diferentes problemáticas con carácter sociocientífico. Este constructo sostiene la relación entre el contexto de los estudiantes en términos personales, familiares, comunitarios y globales, y el desarrollo de competencias científicas, entre las que se incluyen, por ejemplo, la explicación de fenómenos científicamente, la recolección de pruebas o evidencias científicas, la interpretación de datos, entre otras.

Estas competencias también están relacionadas con los conocimientos en términos conceptuales, donde se involucran los datos científicos o las ideas clave en ciencias, así como los procedimientos y el conocimiento epistémico o metacientífico acerca de cómo se construye y valida ese conocimiento. Por otro lado, está relacionado con las actitudes hacia la ciencia, por ejemplo, el interés, la responsabilidad,

la valoración de los enfoques científicos y sus aportaciones. Finalmente, toda esa interrelación genera un concepto que en la práctica de la enseñanza de las ciencias debe promoverse.

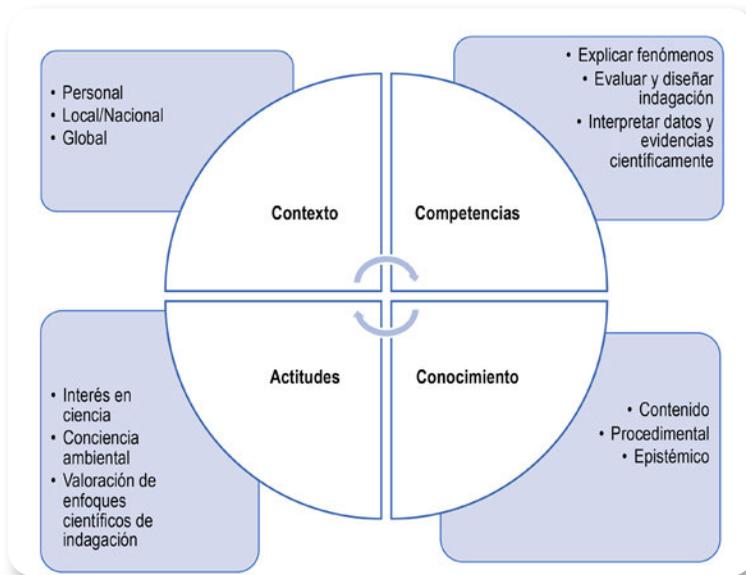


Figura 31. Alfabetización científica.

Fuente: Retana (2018)

En el caso de la alfabetización científica, esta debe realizarse en el marco de una metodología de enseñanza y aprendizaje que comúnmente es denominada educación científica basada en la indagación. Muchísimos autores marcan diversidad de enfoques o perspectivas respecto a lo que significa la indagación en la enseñanza de las ciencias (Couso, 2014). Sin embargo, esta autora hace mención de tres ideas clave que se sitúan en la literatura científica (figura 31): por un lado, la indagación conocida como un contenido por aprender o como destrezas de indagación científica de carácter técnico manipulativo; por otro lado, como una práctica científica que incluye argumentación y modelización; y, finalmente, como una metodología donde existe un conjunto de actividades en un ciclo de aprendizaje constituido por diferentes fases, donde esas deben asumir un carácter motivador en términos tanto afectivos como cognitivos.

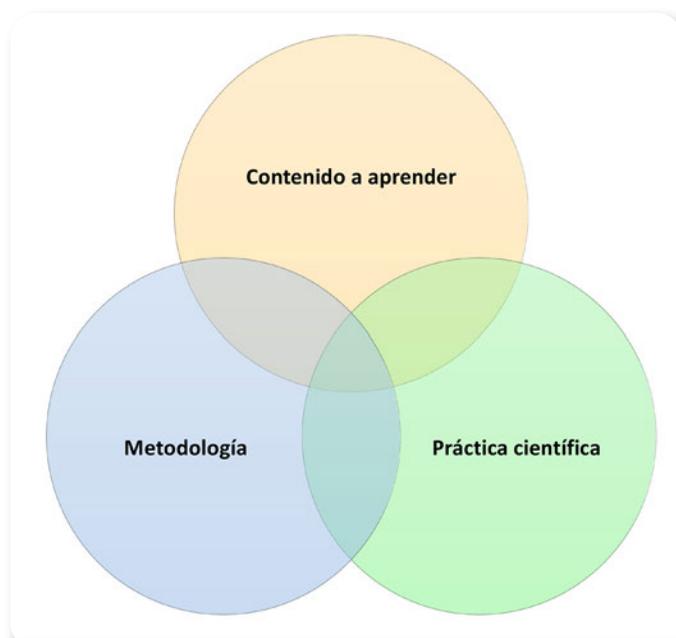


Figura 32. Educación científica basada en la indagación.

Fuente: Retana (2018)

Es así como, dentro de esta metodología indagatoria, se aprovechan algunos temas sociocientíficos para que los estudiantes se impliquen con problemas de su vida cotidiana, como el caso del mercurio en las minas de Cutris de Costa Rica que se utiliza para amalgamar el oro procedente de las rocas. Por lo tanto, se trabaja un tópico científico que tiene distintas ramificaciones sociales. Es un problema relevante, atractivo y mal estructurado por naturaleza, que requiere una argumentación basada en pruebas científicas para informar, a través del diálogo y el debate, aquellas decisiones que surjan a partir del problema.

Todo requiere, por supuesto, movilizar la empatía, fomentar el carácter y el razonamiento moral en estas decisiones. A pesar de que el conocimiento científico puede ser lo suficientemente sólido y demostrado, muchas veces ese conocimiento, evidencia o prueba, no lo es para las personas, por lo tanto, es ahí donde las emociones juegan un papel preponderante, porque son las que asumen el rol principal en la toma de decisiones que puedan afectar a las personas de un entorno determinado.

Por este motivo se comenzó con una intervención didáctica en el marco de una asignatura de didáctica de las ciencias para la educación primaria, y se planteó la siguiente pregunta: ¿existe algún cambio en las emociones que los futuros

docentes asumen y manifiestan en el transcurso de las intervenciones basadas en investigación escolar de cuestiones sociocientíficas? En este sentido, se parte, pues, de la suposición de que las estrategias de autorregulación emocional, unidas a prácticas científicas, también podrían generar cambios en esas propias emociones o afectos y en las interacciones que ocurren en la práctica de aula como en el clima que se propicia en este sentido.

Es así como se diseñó e implementó un conjunto de actividades que se enmarcan en un ciclo de aprendizaje indagatorio (figura 33). En primer lugar, se partió de una focalización, en donde se presentó un problema sociocientífico correspondiente a la minería a cielo abierto, esto mediante la exposición y lectura de noticias publicadas en diferentes periódicos nacionales, donde los estudiantes se informaron sobre la problemática, las características del lugar, los principales tópicos científicos relacionados en cuanto a clasificación de la materia y las características propiamente cualitativas que presenta el metal mercurio, así como sus implicaciones en términos ambientales y sanitarios.

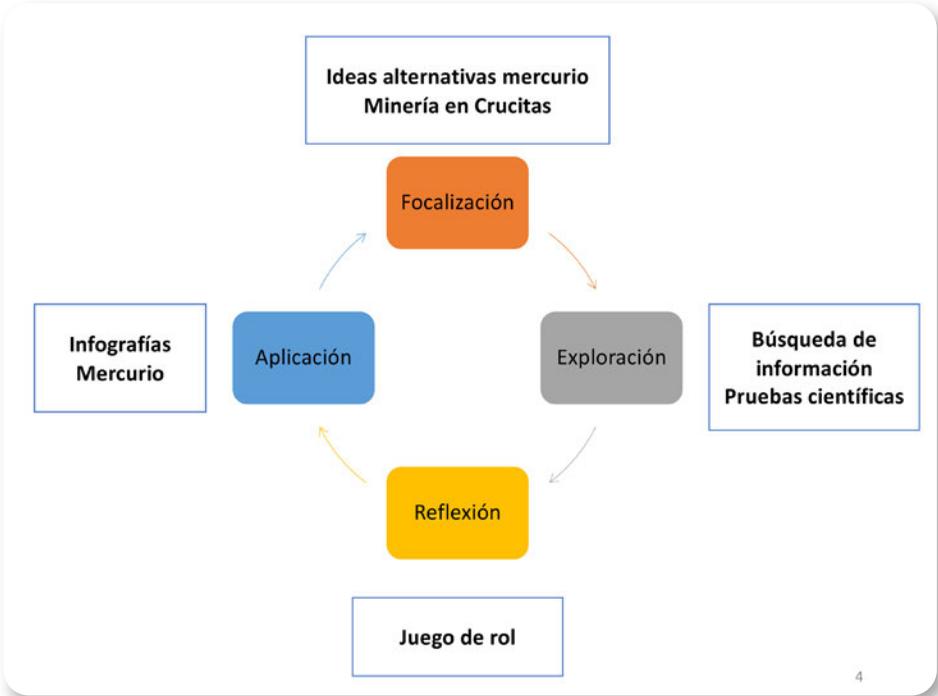


Figura 33. Esquema ilustrativo del ciclo de aprendizaje indagatorio.

Fuente: Retana (2020)

A partir de ahí se generó un proceso de exploración donde se realizó una búsqueda de información aún más detallada, como pruebas científicas sobre el mercurio, derivadas de otras investigaciones que han realizado las universidades estatales en términos biológicos y químicos.

Una vez superada la etapa de exploración, se incursionó en la siguiente fase: la reflexión, donde los estudiantes llevan a la clase de modalidad virtual los conocimientos que adquirieron a través del proceso de búsqueda de información y recolección de pruebas. En esa aula virtual, se realizó un juego de rol donde los estudiantes tomaban distintas posiciones a favor o en contra, asumiendo roles como miembros de la comunidad, políticos, ambientalistas, educadores, profesionales de la salud, entre otros. De modo que se genera un debate en el aula para tomar la decisión de si es o no conveniente seguir fomentando la minería a cielo abierto en Costa Rica.

Más adelante se entra a la etapa de aplicación, donde los estudiantes movilizan todos esos conocimientos aprendidos a la elaboración de infografías (figura 34) para compartir con sus familiares y amigos a través de redes sociales con el fin de incidir en sus actitudes ambientales.

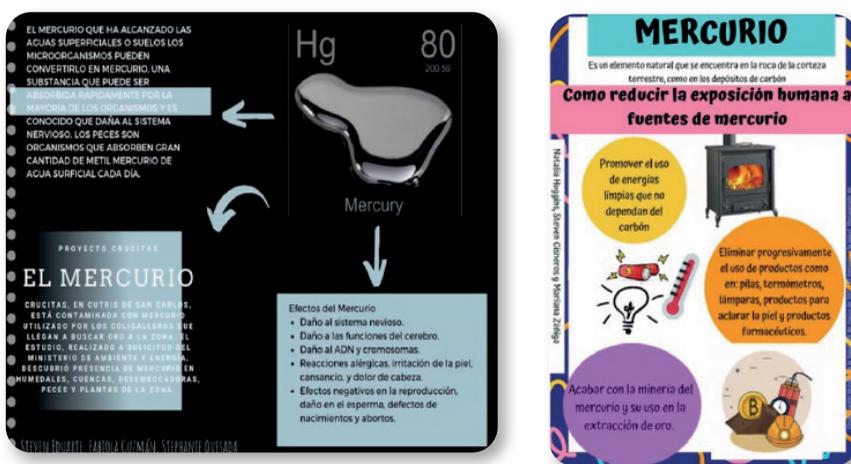


Figura 34. Ejemplos de las Infografías elaboradas por los estudiantes.

Fuente: Retana (2020)

Dentro de los principales resultados obtenidos al aplicar esta intervención con los futuros docentes costarricenses, se encuentra un predominio de emociones positivas hacia los contenidos de ciencias (figura 35), tanto antes como después de la actividad, prevaleciendo emociones como el interés y sobre todo un incremento en el bienestar. Las emociones negativas también estuvieron presentes, sin embargo, fueron menos intensas.

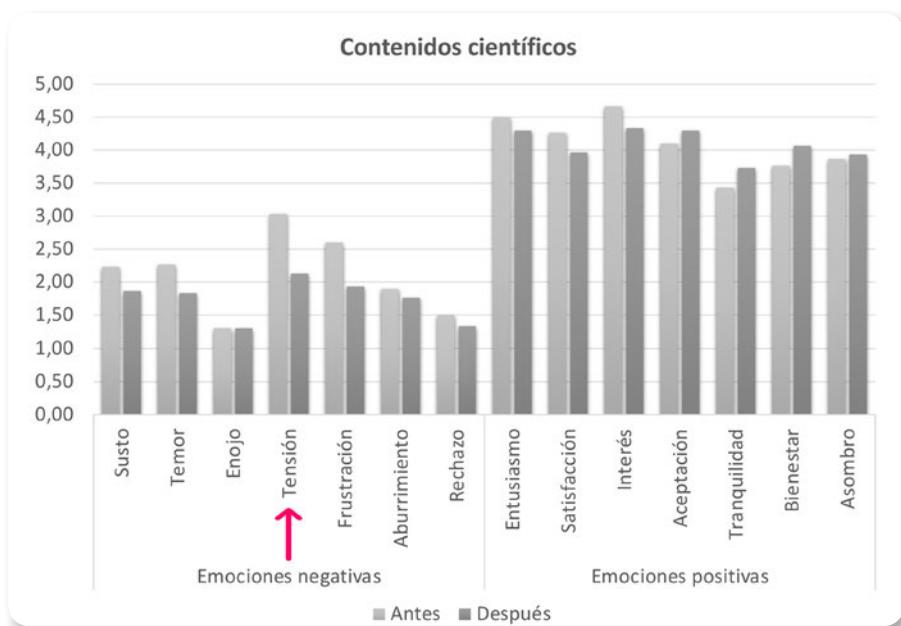


Figura 35. Mejora de las emociones en el aprendizaje indagatorio.
Fuente: Retana (2020)

Es importante destacar que la tensión es uno de los aspectos a los que hay que prestar más atención, dado que, en el marco de otros estudios realizados previamente (Retana-Alvarado et al., 2018a, 2018b, 2021), es una emoción que siempre está presente, por lo tanto, se debe superar para poder fomentar una mayor motivación de parte de los estudiantes en este tipo de intervenciones.

Dentro de las principales implicaciones de cara a la formación de los docentes, por un lado está gestionar las emociones negativas que han generado un alejamiento de los estudiantes de los itinerarios científicos y, por otro lado, la incorporación de la educación emocional en un modelo de conocimiento profesional que incluya diferentes estrategias para la regulación de las emociones, así como prácticas científicas para que, en la futura práctica profesional, puedan desarrollar unidades didácticas que incorporen este tipo de estrategias.

A manera de ejemplo, más allá de nuestro contexto costarricense, la minería representa una cuestión sociocientífica que también permite reflexionar desde una perspectiva territorial sobre las relaciones socioafectivas con el territorio (Lorca-Marín, Retana-Alvarado y Ferreras, 2020). Por ejemplo, en asignaturas de Didáctica de las Ciencias del Grado de Maestro en Educación Primaria de la Universidad de Huelva (España) se llevan a cabo intervenciones de investigación escolar referentes a la mina de Río Tinto, situada en el Cerro Colorado de la pro-

vincia de Huelva, una de las minas a cielo abierto más grandes de Europa. En este sentido, a partir de la mediación de conflictos sociocientíficos se enfrentan temáticas de carácter económico, ambiental y social para fomentar el pensamiento crítico y la empatía.



Figura 36. Minas de Río Tinto. Fuente: Dr. Antonio Lorca.

Actualmente, se encuentra en el Cerro Colorado una de las minas de cielo abierto más grande de Europa, con una superficie de 4.2 km² y una profundidad de 230 metros, con un tratamiento de 9.5 millones de toneladas de mena al año para una producción de 45000 toneladas de concentrada de cobre.

La historia de las minas de Río Tinto se remonta a las primeras civilizaciones organizadas. Ya en la Edad del Cobre, el desarrollo de la mina estaba unido al de las propias civilizaciones: tartesos, fenicios, entre otros. Pero el desarrollo minero en esta época llegó con los romanos.

La explotación empresarial de la mina no se produce hasta el siglo XVIII, pero es en el XIX, en el que la minería de Río Tinto va a sufrir el momento de apogeo industrial, demográfico y económico.

En 1873, un consorcio británico compra las minas al estado y funda la Rio Tinto Company Limited. La compañía brindó el resurgir de Río Tinto, se abrieron cortas de explotación y se desarrolló la minería interior. Ese mismo año el consorcio financiero extranjero con mayoría de capital británico compra la mina, dejando una impronta social, cultural e incluso deportiva en el pueblo de Río Tinto. Ejemplo de esto es el actual pueblo de Bellavista.

Para finalizar, de todos los aportes compartidos en este módulo, el principal es que las personas, independientemente del contexto donde se encuentren, son capaces de reconocer los problemas sociales, ambientales y sanitarios que afectan a sus familias, comunidades, país o a nivel global.

El mercurio es uno de los metales pesados con el que las personas compartimos muchísimo tiempo, incluso desde los hogares; en el momento en que se enciende una lámpara o se mide la temperatura corporal, aun sin percatarse, se está manipulando un metal tóxico, peligroso para la salud, para el ambiente y para todos los elementos vivos que se encuentren presentes. En ese sentido, se insta a todas las personas de la comunidad a que se unan en la realización de diferentes labores para evitar la exposición y asumir un rol responsable en el control de la contaminación por mercurio.

Referencias

- Couso, D. (2014). De la moda de “aprender indagando” a la indagación para modelizar: una reflexión crítica. En M. Á. de las Heras, A. Lorca, B. Vázquez-Bernal, A. M. Wamba y R. Jiménez-Pérez (Eds.), *Investigación y transferencia para una educación en ciencias: un reto emocionante* (Actas de los 26 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales). Huelva: Universidad de Huelva.
- Lorca, A. A., Retana-Alvarado, D. A., y Ferreras, M. (2020). La mediación de conflictos socio-científicos en el aula de Ciencias. Los juegos de rol en dos contextos, Costa Rica y España. En E. Ordoñez, E. J. Delgado, M. M. Hernández y Carlos Hervás (Eds.), *La mediación como estrategia de resolución de conflictos en ámbitos sociales y educativos* (pp. 104-112). Madrid: Dykinson.
- Mellado, V., Borrachero, A. B., Brígido, M., Melo, L. V., Dávila-Acedo, Ma. A., Cañada, F., Conde, M. C., Costillo, E., Cubero, J., Esteban, R., Martínez, G., Ruiz, C., Sánchez, J., Garritz, A., Mellado, L., Vázquez-Bernal, B., Jiménez-Pérez, R., y Bermejo, M. L. (2014). Las emociones en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 11-36.
- Retana Alvarado, D. A., Vázquez-Bernal, B., de las Heras Pérez, M. Á., y Jiménez Pérez, R. (2021). Las causas del cambio emocional en el clima de aula desde la Hipótesis de la Complejidad. *Revista Interdisciplinaria Sulear*, 9, 170–190.
- Retana-Alvarado, D. A., De las Heras-Pérez, M. Á., Vázquez-Bernal, B., y Jiménez-Pérez, R. (2018a). El cambio en las emociones de maestros en formación inicial hacia el clima de aula en una intervención basada en investigación escolar. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(2), 2602-2618.
- Retana-Alvarado, D. A. (2018b). El cambio en las emociones de maestros en formación inicial en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias basada en la indagación. Tesis doctoral. Huelva: Universidad de Huelva.

Capítulo IX

El mercurio, un tema para la indagación en la enseñanza secundaria

Danilo López Pérez¹¹

Eugenia Rodas López¹²

Pedro Luis Villaseñor Fajardo¹³

Diana Ivonne Dardón Tejada¹⁴

Katherine Alejandra Arias Hernández¹⁵

Gina Sophia Noriega Martínez¹⁶

José Ricardo Arriola García¹⁷

José David Chay Grijalva¹⁸

*“El mundo que hemos creado es un proceso de nuestro pensamiento, no se puede cambiar sin cambiar nuestra forma de pensar”,
Albert Einstein.*

11 *Universidad San Carlos, Director Escuela de Formación de Profesores de Enseñanza Media EFPEM Guatemala*

12 *Universidad San Carlos, Escuela de Formación de Profesores de Enseñanza Media EFPEM Guatemala*

13 *Universidad San Carlos, EFPEM y Instituto Guillermo Putzeys Álvarez*

14 *Universidad San Carlos, EFPEM y Instituto Nacional Experimental de Educación Básica Dr. Carlos Federico Mora*

15 *Estudiante Instituto Guillermo Putzeys Álvarez de Guatemala.*

16 *Estudiante Instituto Guillermo Putzeys Álvarez de Guatemala.*

17 *Estudiante Instituto Guillermo Putzeys Álvarez de Guatemala.*

18 *Estudiante Instituto Guillermo Putzeys Álvarez de Guatemala.*

La Escuela de Formación de Profesores de Enseñanza Media (EFPEM) de la Universidad de San Carlos de Guatemala es una escuela encargada de formar profesores de enseñanza media, los cuales egresan con una especialidad en física matemática, química, biología, ciencias naturales con orientación ambiental, educación bilingüe intercultural, económico contable, informática y computación.

Danilo López Pérez, director de EFPEM, menciona que la Escuela tiene 52 años de haber sido creada por la UNESCO. El Ministerio de Educación y la Universidad de San Carlos, en esa época, hace 52 años, tenían la necesidad de profesores con una especialidad, ya que ese era el problema en el nivel medio para poder atender a los jóvenes que tanto lo necesitaban.

Fue creada como un ente que pertenecía a la Facultad de Humanidades, luego, hace 22 años, se independizó, lo que le ha permitido crecer en diferentes actividades y fortalecer los programas de formación docente.

EFPEM ha trabajado con diversas universidades, en la actualidad lo hace con la UCR. Como institución educativa encargada de la formación a nivel nacional de profesores con especialidad, ha aprovechado el fortalecimiento obtenido gracias a esas instituciones para formar a los docentes.

En este momento se ha estado trabajando en una educación en salud ambiental para el control de la contaminación por mercurio, la exposición y el riesgo a la salud, dirigida al profesorado de Química y Biología con Orientación Vocacional, el cual encabeza la Máster Eugenia Rodas, ella la encargada de todos estos proyectos y ha sido la coordinadora de la relación que tienen la Universidad San Carlos con el proyecto ENLACE (TC 722) de la Universidad de Costa Rica, esto ha permitido fortalecer cada vez más la formación de los estudiantes y los profesores.

Se debe reflexionar acerca de los aspectos ambientales relacionados al mercurio, aquellos que también que se tienen en casa, y cambiar actitudes en cuanto a su manejo, de manera que esto se refleje tanto en la educación del hogar como en las instituciones educativas.

De esta relación interuniversitaria Dardón (2020) menciona que participó en el *Campamento didáctico para el aprendizaje de la química y sus implicaciones medioambientales*, desarrollado en Costa Rica en el año 2019, el cual estuvo a cargo de personalidades expertas en el área científica y pedagógica. En este campamento se realizaron actividades con docentes de Ciencias Naturales con el objetivo de analizar el tema del mercurio, compartir conocimientos acerca de su manejo adecuado y conocer los efectos que este ocasiona. En este campamento se utilizó como metodología la indagación científica, que trata de involucrar a los estudiantes despertando su interés, para que luego realicen una investigación, un análisis y una reflexión.

“Como profesora de Ciencias Naturales, adquirí el compromiso de compartir con mis estudiantes todo el conocimiento adquirido en esta actividad”. Dardón, 2020.

De acuerdo con la experiencia obtenida en el campamento didáctico realizado en Costa Rica, la profesora Diana Dardón asumió el compromiso y desarrollará en el Instituto Dr. Carlos Federico Mora de Guatemala, un proyecto denominado: “Estrategias de enseñanza, aprendizaje del mercurio, así como su manejo adecuado”, tanto en la vida cotidiana de los estudiantes como en el centro de estudio. Se va a manejar un plan de estudio basado en la metodología de interacción científica, la cual se tuvo durante el campamento.

Este proyecto presentó cinco fases, una de ellas se centra en la motivación, se genera el interés mediante el cual el estudiante desarrollará su curiosidad por saber algo más sobre el tema, luego este indaga e investiga, y se determina cuánto conocimiento adquirió.

En la fase 2 se lleva a cabo un trabajo de investigación referente a diferentes temas, y esta información será compartida con los compañeros.

En la fase 3, a través de la unificación de las diferentes áreas de estudio, los estudiantes hacen una dramatización de un caso relacionado con el uso del Mercurio, la cual darán a conocer de acuerdo al conocimiento que han llenado.

La fase 4 es una propuesta para solucionar algún asunto relacionado al Mercurio, su manejo adecuado, sus efectos en el medio ambiente, los efectos en la salud, el efecto biológico y el efecto ecológico, esto lo enlazarán a través de una dramatización.

Finalmente, los estudiantes trabajaron en un diario reflexivo, en el cual evaluaron lo que sabían, lo que aprendieron y, finalmente, cómo lo relacionan con su vida diaria.

También, Eugenia Rodas, Jefa de Cátedra de Educación Ambiental y Ciencias Naturales, menciona que, como seguimiento a estas iniciativas con el apoyo de estudiantes de la Licenciatura en la Enseñanza de la Ciencia y Tecnología, se desarrolló un proyecto que consistió en el manejo adecuado de los desechos de Mercurio y Cadmio.

Los estudiantes realizaron 2 talleres importantes, desarrollados como una extensión educativa en el Instituto de Villanueva, muy cercano a la ciudad capital. El primero consistió en hacer énfasis en el uso adecuado del desecho con vías ahorradoras, a este lo titularon Enfócate. Se preparó una guía de cómo descartar y guardar estos desechos, asimismo, se proporcionó al centro educativo un recipiente plástico de color rojo suficientemente grande para que toda la comunidad educativa pudiera depositar ahí los desechos.

El siguiente taller fue Pilas con el Ambiente, este tenía como propósito entregar una botella plástica reciclada a los estudiantes en la que estos podían depositar todas las baterías que utilizan en sus diferentes dispositivos, de manera que no estén expuestas al medio ambiente.

Otro ejemplo del efecto multiplicar que produce la educación en salud ambiental y en este caso que fue producto del campamento desarrollado en el año 2019 en Costa Rica, el profesor Pedro Villaseñor, Catedrático de bachillerato en el Instituto Guillermo Putzeys Álvarez, menciona que trabajó con estudiantes de onceavo grado, y uno de los propósitos fue determinar cómo dar a conocer en la sociedad la problemática de la contaminación por mercurio, y qué puede ocasionar esta al medio ambiente y dentro del organismo del ser humano.

El proyecto constó de 4 fases muy importantes, en la primera se realizó la indagación y el descubrimiento de toda la información, en la segunda fase se profundizó en el tema, en la tercera fase se unificó la información, y en la cuarta fase se trabajó en cómo dar a conocer toda esa información a la sociedad educativa, ya que la contaminación por mercurio es un problema social, educativo y de salud pública.

Como parte de ese proceso se presenta una muestra de los aspectos que eligieron comunicar algunos de los estudiantes del Instituto Guillermo Putzeys Álvarez, de Guatemala.

José David Chay (2020) hace referencia a que el mercurio es un metal fascinante, aunque también es muy peligroso; actualmente ha creado serios daños en los ecosistemas. El mercurio es un elemento como cualquier otro de la tabla periódica, se formó en las confinidades del espacio, en las grandes colisiones de estrellas de neutrones y moribundas estrellas de masa baja, ha estado presente en la Tierra desde su nacimiento hace aproximadamente 4500 millones de años, y su presencia en la superficie es relativamente escasa debido a que la mayor parte del mercurio, debido a su gran densidad, se hundió hasta el núcleo del planeta.

Katherine Alejandra Arias Hernández indica aspectos generales del mercurio, como por ejemplo, que es el elemento número ochenta en la tabla periódica, es un metal líquido, inodoro, plateado, pesado y ligeramente volátil a temperatura ambiente, con un peso atómico de 259 gramos/mol.

El uso de este metal se remonta a muchos años atrás, ya en la obra arquitectónica de Vitruvio del 27 a.C al 23 a.C se pueden observar referencias a temas como la plata. El mercurio fue utilizado por diversas culturas como símbolo de poder entre reyes y emperadores, ya que creían que poseía propiedades mágicas

Los chinos han utilizado el mercurio más extensamente que cualquier otro pueblo, un ejemplo de esto es la tumba del emperador chino Qin Shin Huang, quien murió en el año 210 a.C, cuya tumba se dice que estaba rodeada por ríos de mercurio, él pensaba que el mercurio le iba a dar inmortalidad.

Centrándose más en América, en 2015, en las entrañas de Teotihuacán, una ciudad antigua que en algún momento fue considerada la más grande de las Américas, un arqueólogo mexicano llamado Sergio Gómez encontró grandes cantidades de mercurio en una cámara en el extremo de un túnel sagrado de la pirámide del Sol. Muchos arqueólogos estiman que esta cámara había estado sellada por 1800 años y podría ser representación del primer gobernante de Teotihuacán, pero Sergio Gómez considera que simplemente podría simbolizar un río o una laguna cualquiera. Anteriormente ya se habían encontrado pequeñas cantidades de mercurio en algunos sitios mayas más al sureste, pero esta fue la primera vez que se encontró en Teotihuacán y de manera líquida, lo cual resulta sorprendente.

En el siglo IV, Aristóteles utilizó el mercurio en ceremonias religiosas. El metal se utilizaba como pigmento de decoración de cuevas y cuerpos. Los griegos, romanos y egipcios lo usaban para medicamentos, amalgamación y cosméticos. Además, se empezó a utilizar para la extracción del oro y plata.

Este metal también se utilizó para realizar un famoso método de falsificación de monedas que consistía en acuñar las unidades en cobre para luego recubrirla en una pasta de mercurio y plata. Luego la moneda se colocaba sobre una especie de sartén y se introducía a un horno, el mercurio se evaporaba dando lugar a una moneda de plata, esta pasaba a un lugar de limpieza y resultaba una moneda más brillante que las auténticas.

El mercurio es el único metal que es líquido a temperatura ambiente. Tiene una densidad muy alta de 13.6 gramos/mol. Cuando se coloca una moneda sobre este, siendo que el peso aproximado de la moneda es de 3-7g, flota en la superficie debido a los altos niveles de densidad.

Gina Sofía Noriega Martínez (2020) recalca que a pesar de que culturas como la egipcia, romana e india atribuían al mercurio propiedades curativas, mágicas y afrodisíacas, el ser humano supo que el mercurio es tóxico desde el primer siglo de la era cristiana, cuando el sabio romano Plinio afirmó que el envenenamiento por mercurio era una enfermedad de esclavos y que las áreas de la ciudad más cercanas a las minas de mercurio eran consideradas las más insalubres.

El mercurio está presente de diversas formas en la naturaleza, como mercurio metálico, mercurio inorgánico y mercurio orgánico. La forma en la que estos afectan a la salud humana y al medio ambiente varía, por ejemplo, si una persona se expone al

mercurio metálico líquido por ingestión o por contacto con la piel, la absorción del cuerpo es mucho menor en comparación con otras formas de mercurio. Realmente el envenenamiento por mercurio no se da tan seguido, pero eso no quiere decir que no sea tóxico.

Por otro lado, los vapores de mercurio son especialmente nocivos, aproximadamente el 80% de la cantidad inhalada es absorbida por el tracto respiratorio y luego llega al sistema circulatorio, haciendo que se distribuya por todo el cuerpo. La exposición a este tipo de mercurio, aunque sea en concentraciones bajas, puede causar temblores, disminución de la habilidad cognitiva y problemas del sueño. Las principales personas afectadas son personas que se exponen en un entorno industrial, pero cualquier persona que esté en un hospital, escuela, o incluso en su hogar, siempre y cuando haya productos con mercurio, también puede verse afectada por este tipo de problemas.

El mercurio se utiliza de diversas formas en la industria, por ejemplo, para la refinación de metales no ferrosos como el cobre, el zinc, el oro y la plata. Se encuentra en el gas natural que tiene ciertas tasas de mercurio, cuando el gas se quema, se libera. Se utiliza como cátodo en la electrólisis, empleada para la producción de cloro alcali y en productos médicos como termómetros, dispositivos para medir la presión sanguínea y dilatadores. También se utiliza en

el área odontológica con las amalgamas dentales, a las que los dentistas están expuestos constantemente. En 2005, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente estimó que 362 toneladas anuales de mercurio se utilizan para el campo odontológico en el mundo.

También se pueden mencionar otros productos que contienen mercurio, como los interruptores eléctricos, las bombillas fluorescentes y las baterías. Muchas personas tienden a creer que las bombillas ahorradoras son mejores para su economía y para el medio ambiente, pero éstas contienen mercurio, y cuando la bombilla se rompe, ese mercurio se libera y puede afectar nuestra salud. Una mejor opción es comprar bombillas LED y termómetros digitales.

Por otro lado, las sales de mercurio inorgánico son altamente tóxicas y corrosivas, y si una persona lo ingiere o entra en contacto con la piel, el cuerpo puede absorber hasta un 10% de las sustancias.

Según un documento preparado en conjunto por la Organización Mundial de la Salud y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, el blanco principal de la toxicidad del mercurio es el sistema nervioso central, el sistema cardiovascular y los riñones.

El metilmercurio es un compuesto de mercurio orgánico y protagonista de la contaminación por mercurio, este contamina a los peces y las

aves; luego, cuando el ser humano lo ingiere, la absorción es mucho mayor y más veloz que la del mercurio metálico, por tanto, entra al sistema sanguíneo y luego se acumula en el cerebro, iniciando un proceso en el que se convierte lentamente en mercurio inorgánico.

La forma en la que el mercurio se convierte en metilmercurio aún se estudia, pero se puede mencionar el proceso de bioventilación, en el que ciertas bacterias en aguas profundas, con bajos niveles de oxigenación, descomponen la materia orgánica y la combinan con el mercurio. También, en la superficie terrestre, ciertos microorganismos se encargan de combinar el carbono con mercurio, formando así metilmercurio.

Una vez que el metilmercurio se encuentra en el medio ambiente, se bioacumula y se biomagnifica, es decir, la sustancia no se elimina del organismo por procesos metabólicos, sino que se acumula, incrementando su concentración, afectando y generando diversas consecuencias.

Según un estudio realizado en el año 2000 por el Consejo de investigación de las Academias Nacionales de Ciencias e Ingeniería, la población que estaba más expuesta a la contaminación por metilmercurio son los hijos de mujeres que, durante o antes del embarazo, consumían mucho pescado o mariscos contaminados.

La cuantificación en sangre y las muestras de orina son las principales herramientas para el diagnóstico de intoxicación por ingesta o contacto con mercurio. Además, la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia ofrece el servicio de diagnóstico por medio de la muestra de orina.

José David Chay (2020), también menciona otros aspectos de este metal, entre ellos que el mercurio inorgánico se encuentra de manera natural en los ecosistemas debido a la actividad volcánica, pero en la actividad humana ha aumentado su presencia. Al ser un metal líquido a temperatura y presión ambiente, este se manifiesta fácilmente en forma de gas, el cual recorre grandes distancias para depositarse en la biosfera y luego es absorbido por microorganismos que, al ser un compuesto tóxico, lo metabolizan en metilmercurio. Pero el alcance del mercurio no termina aquí, sino que adquiere la propiedad de biomagnificación y bioacumulación en la cadena trófica, más conocida como cadena alimenticia.

El mercurio es liberado por volcanes e industrias, en especial la industria minera que opera de manera ilegítima y utiliza mercurio para extraer el oro en forma de amalgama, luego es liberado en forma de gas, el cual pasa desde los organismos más pequeños a los organismos más grandes.

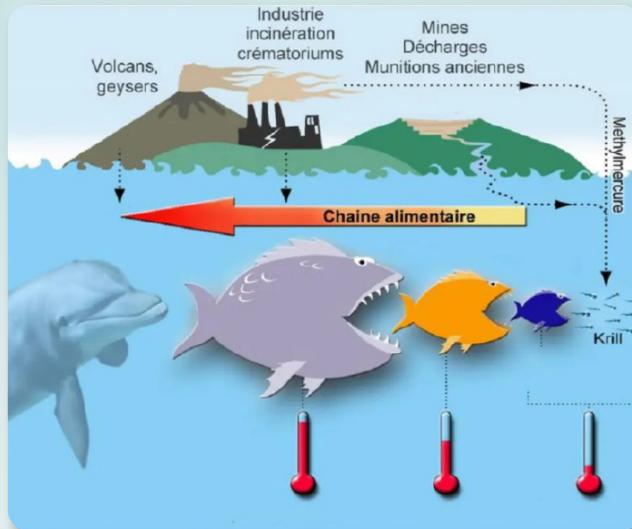


Figura 37. Biomagnificación y bioacumulación del mercurio.

Se estima que cada plancton tiene una molécula de metilmercurio, si el krill se alimenta de 1000 plánc-tones en un día, eso significa que pueden tener 1000 moléculas de me-tilmercurio. El salmón, por ejemplo, se alimenta de 150 kriles al día, lo cual implica que puede contener en su organismo 150000 moléculas de mercurio metílico. Esto sucede suce-sivamente mientras se avanza en la cadena trófica.

Según la EPA (Environmental Protection Agency, U.S.), los organismos que están en la cúspide de la ca-dena alimenticia son los más conta-minados. Así que esto se puede imaginar como una especie de pirá-mide en cuya punta se acumula más densamente el mercurio.

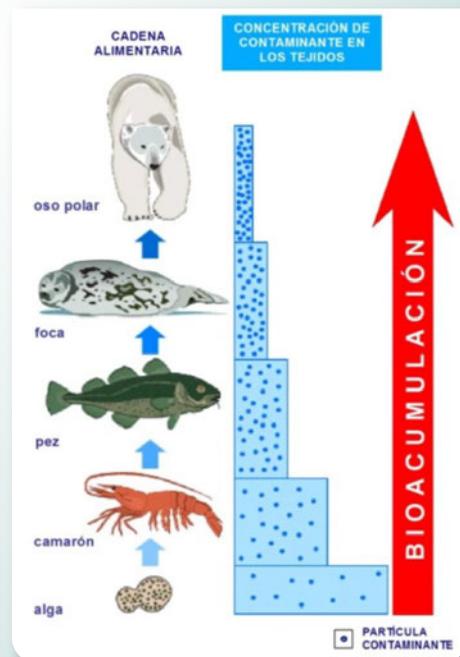


Figura 38. Bioacumulación del mercurio en la cadena alimenticia.

¿Qué provoca el mercurio en los ecosistemas?

Se ha comprobado que el mercurio provoca infertilidad y trastornos del comportamiento en la fauna debido al daño neurológico. Además, provoca daño y muerte en la flora y fauna debido a los problemas enzimáticos que conlleva.

Recientemente se ha publicado un artículo por la revista *Neithor* de la Universidad de Cincinnati, en el cual se plantea que las ciudades estado mayas del periodo clásico como Tikal, Palenque, Ocala, entre otros, fueron abandonadas en parte por el uso y abuso de cinabrio, que no es más que el sulfuro de mercurio.

José Ricardo Arriola García (2020) hace referencia a que el mayor ejemplo de contaminación por mercurio se dio en la ciudad de Minamata, ubicada al sur de la isla Honshu, en Japón, en donde desemboca el río Minamata. Su historia empieza en 1956, con alrededor de 5000 personas, todas ellas se dedicaban a la pesca.

En esa misma ciudad existía una empresa que se dedicaba a la producción de acetaldehído. Se estima que en la década de 1930 esa empresa desechó al mar 80 toneladas de mercurio y 15 toneladas de metilmercurio, provocando la mayor contaminación de mercurio de la historia.

No fue hasta el 21 de abril de 1956, 26 años después de que la

empresa empezara a descargar sus residuos al mar, cuando una niña de 5 años llamada Suki Nora empezó a tener síntomas poco comunes, entre ellos se mencionan convulsiones y dificultades para hablar y para caminar, por lo que fue llevada de emergencia al hospital por sospecha de una enfermedad neurológica. Diez días después, el 1 de mayo del mismo año, la enfermedad fue declarada oficial, ya que 4 pacientes más llegaron al mismo hospital con los mismos síntomas, entre ellos la hermana de la primera infectada.

El director del hospital notificó que tenían problemas cerebrales poco comunes: problemas en el sistema nervioso central, pérdida de la visión periférica, sensaciones de cosquilleo (por lo general en las manos y en la boca) y dificultades para hablar, para caminar y para ver.



Figura 39. Paciente que padece de la enfermedad de Minamata.

Fuente: W. Eugene Smith

Pasaron los años y estudios revelaron que la enfermedad se diagnosticó como una encefalopatía y neuropatía periférica, todo esto por envenenamiento de metilmercurio asociado con la ingesta diaria de camarones, peces y cangrejos, ya que estos animales guardaron el metilmercurio en sus agallas y en el tracto gastrointestinal.

En 1959 se establece una relación causal con los niveles de mercurio que estaban en la bahía y con todo lo que la empresa había desechado. Los habitantes, al darse cuenta de que la empresa fue la responsable de todo lo que había sucedido, empezaron protestas y juicios para cerrar la compañía. No fue hasta el 2001 que el Ministerio de Ambiente de Japón dijo que 2265 víctimas habían sido afectadas por esta enfermedad y 1784 habían muerto.

Tras muchos años, diplomáticos de la salud se reunieron en Japón para elaborar el Convenio Minamata. Empezaron en octubre de 2013 y el convenio entró en vigor el 24 de agosto del 2017. Su objetivo era proteger el ambiente y la salud humana de las emisiones y liberaciones antropogénicas de mercurio y metilmercurio, incluida la minería. En esa misma conferencia, Ericsson, el director ejecutivo y de ambiente de la ONU, dijo lo siguiente:

“El convenio de Minamata muestra que nuestro trabajo global para proteger el planeta y su gente puede continuar uniendo las naciones. Lo hicimos por la capa de ozono, lo estamos haciendo por el envenenamiento con mercurio y es por lo que necesitamos hacer respecto al cambio climático, una causa a la que también servirá el convenio de Minamata”.

Aproximadamente más de 125 países han firmado ese acuerdo, entre ellos se encuentran Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Costa Rica, Estados Unidos, entre otros. Se invita a que los países que aún no han firmado el acuerdo lo hagan, ya que, más que una firma, este es un compromiso entre varios países para fomentar la educación acerca del mercurio para un ambiente mejor. Al firmar no solo se realiza un esfuerzo para mejorar la salud de las personas, sino también para acelerar la transición económica hacia un país más verde, reduciendo el envenenamiento por mercurio y metilmercurio a través de medidas responsables y sanitizadas.

Capítulo X

Análisis de la problemática social y ambiental por contaminación con mercurio y otros metales pesados a través de la metodología de indagación científica, usando como estrategia didáctica el desarrollo de un campamento.

*Juan Gabriel Coto Rodríguez¹⁹
Jesús Alberto Garro Umaña²⁰*



Figura 40. Zona de minería de oro en Crucitas en 2020

19 Liceo Laboratorio Emma Gamboa, UCR-MEP.

20 Investigador independiente.

La minería de oro a cielo abierto es una actividad de alto impacto social y ambiental. La realización de este tipo de minería en Costa Rica no es la excepción, a pesar de la legislación existente en materia ambiental. Un caso de gran impacto público es el proyecto minero Crucitas, ubicado en el cantón de San Carlos de la provincia de Alajuela, a escasos kilómetros del Río San Juan, donde se han encontrado dos concentraciones de oro: una en las cercanías de las comunidades de Crucitas y Conchudita. Esta zona se ha considerado en alta vulnerabilidad ambiental, pues en ella habitan especies en vías de extinción, y por su cercanía con los Refugios de Vida Silvestre Maquenque, el Corredor Fronterizo Norte y el Corredor Biológico San Juan-La Selva.

La Universidad de Costa Rica (UCR), mediante su Consejo Universitario (en acuerdo firme de la sesión No. 5303 del 2008), se pronunció a favor de mantener la moratoria y suspender los permisos para este tipo de proyectos mineros enumerando una serie de argumentos que aludían la existencia de más impactos negativos que positivos. Ante la marcha atrás del Gobierno de la República en la concesión de los permisos para el proyecto Crucitas se generó un complejo entramado de situaciones que implicaron demandas internacionales para el estado costarricense y, lo más grave, un abandono de la zona ya preparada a la actividad ilegal de los coligalleros, quienes utilizan métodos convencionales para la extracción del oro que implican el uso de sustancias químicas altamente contaminantes, entre ellas, mercurio y cianuro.

En este contexto, se han iniciado acciones para compartir la importancia de prestar atención al uso del mercurio en Costa Rica con el fin de contribuir a la disminución de su uso. Estas acciones han implicado activamente esfuerzos de organizaciones públicas y privadas. Es en esta línea que en 2018 se desarrolló el conversatorio *El riesgo del uso del mercurio y el esfuerzo de un país para su erradicación* en el que se planteó la importancia de rescatar en la memoria histórica las consecuencias y lecciones aprendidas del desastre ambiental ocurrido en la Bahía de Minamata (Japón) y en el que colaboraron un grupo de instituciones nacionales e internacionales lideradas por el proyecto ENLACE (TC-722) de la Universidad de Costa Rica bajo la coordinación de la Dra. María Marta Camacho Álvarez, catedrática de esta universidad pública costarricense.

A partir de esta experiencia, nace una idea que llevó a la planificación y ejecución del *Campamento didáctico para el aprendizaje de la química y sus implicaciones medioambientales* en 2019, con la coordinación de la Dra. María Marta Camacho Álvarez, el Lic. Juan Gabriel Coto Rodríguez y el Lic. Jesús Alberto Garro Umaña. Esta iniciativa se dirigió hacia personas docentes en formación de las universidades estatales costarricenses (UNA, UCR y UNED) y de la Universidad San Carlos de Guatemala, con el objetivo de fomentar el análisis de la problemática social y ambiental por contaminación con mercurio y otros metales pesados a través de la metodología de indagación.

Este campamento dirigió sus esfuerzos a la visibilización de las implicaciones socioambientales de la contaminación con metales pesados, con particular énfasis en el mercurio, orientando así a las personas participantes sobre las relaciones entre la química y el ambiente a la vez que les sumergía en un proceso didáctico bajo la metodología de indagación científica, la cual es referente metodológico en la enseñanza de las ciencias naturales en la actualidad. La educación ambiental como eje transversal del campamento prioriza el posicionamiento personal y la toma de decisiones que incidan en la transformación personal como agentes de cambio social en el entorno. Para ello, la experiencia educativa se visualiza como forma de empoderamiento a través de la toma de decisiones informadas y coherentes con los principios del desarrollo sostenible.

¿Por qué y para qué un campamento didáctico?

La propuesta adquiere propósito y sentido en el marco de una *educación científica para una nueva ciudadanía en el contexto del desarrollo sostenible* que plantea el Ministerio de Educación Pública (MEP, 2017a-b). La educación científica se concibe, desde esta perspectiva, como un proceso integral e integrador centrado en la persona estudiante como sujeto transformador de la sociedad y del entorno natural, lo cual requiere que desarrolle habilidades en múltiples dimensiones. Se aspira a formar estudiantes que reflexionen sobre múltiples situaciones locales y globales de forma crítica y proactiva.

En la sociedad de la información y el conocimiento, la educación científica de las generaciones jóvenes es una cuestión ineludible. Tal formación debe ser pertinente y de alta calidad, de modo que provea al estudiantado de las habilidades y conocimientos considerados necesarios para desenvolverse con plenitud en un entorno complejo y en constante cambio. La relación del ser humano con el ambiente es un aspecto álgido que reviste gran importancia en el desarrollo tecnocientífico, estableciendo fuertes conexiones con discusiones de carácter ético, social, económico y político que no pueden ser descuidadas en el aprendizaje de la ciencia (Santos, 2001).

Para ello se consideró pertinente asumir la propuesta metodológica de indagación científica, pues es coherente con el perfil de sujeto aprendiente que es, simultáneamente, individuo transformado y transformador. La estrategia metodológica basada en la indagación supera las visiones centradas en la repetición de información o en procesos activistas que no logran llevar al estudiantado a la reflexión sobre su propio aprendizaje y su responsabilidad en la solución de problemas que se presentan en su comunidad (MEP, 2017a, p. 17).

Esta propuesta, por lo tanto, refiere a las habilidades definidas por la transformación curricular *Educación para una nueva ciudadanía* (MEP, 2016) y que concretan en los siguientes indicadores de habilidad (Tabla 1), ubicados en las diversas dimensiones planteadas por la política curricular vigente en Costa Rica. Esta elección para el componente pedagógico del campamento, además de su valor como referente empírico para valorar la aplicación de la indagación científica en el sistema educativo costarricense, también encaja con las orientaciones estratégicas del convenio de cooperación público-privado sobre la disminución del uso del mercurio liderado por CASIO y la Universidad de Costa Rica, el Instituto Tecnológico de Costa Rica y la Universidad San Carlos de Guatemala.

Tabla 1. Habilidades transversales a la propuesta de campamento didáctico.

Dimensión	Habilidad	Indicadores de logro de la persona estudiante
Maneras de pensar	Pensamiento sistémico	<ul style="list-style-type: none"> Abstrae los datos, hechos, acciones y objetos como parte de contextos más amplios y complejos. Expone cómo cada objeto, hecho, persona y ser vivo son parte de un sistema dinámico de interrelación e interdependencia en su entorno determinado.
	Pensamiento crítico	<ul style="list-style-type: none"> Fundamenta su pensamiento con precisión, evidencia enunciados, gráficas y preguntas, entre otros. Infiere los argumentos y las ideas principales, así como los pro y contra de diversos puntos de vista.
	Resolución de problemas	<ul style="list-style-type: none"> Analiza la información disponible para generar alternativas que aplican en la resolución de problemas para la solución de situaciones en la vida cotidiana.
	Creatividad e innovación	<ul style="list-style-type: none"> Analiza sus propias ideas con el objetivo de mejorarlas de forma individual o colaborativa.
Formas de vivir en el mundo	Estilos de vida saludable	<ul style="list-style-type: none"> Propicia la participación individual y social en la solución de los problemas socioambientales, desde el principio de respeto a toda forma de vida.

Fuente: MEP (2016, pp. 33-37).

La realización de un campamento es una experiencia educativa que supone un conjunto de experiencias difícilmente experimentadas en contextos de educación formales, dado que éstas inciden en el área cognitiva, social y afectiva a través de la vida en grupo dentro de un entorno natural. Con base en lo anterior se puede afirmar que un campamento es un ecosistema educativo en donde interactúan el contexto, las personas, los elementos que constituyen el ambiente de aprendizaje y las formas de interacción entre cada una de las personas y se entrelazan como parte de un proceso integral. Por ende, esta experiencia aportó insumos teóricos, prácticos y metodológicos a las personas participantes en relación con diferentes acercamientos a la problemática de la contaminación con mercurio para su abordaje en el aprendizaje de la ciencia.

Considerando esta noción de ecosistema educativo y la población meta a la cual se dirigió el campamento didáctico, cabe mencionar a la persona docente, la cual se visualiza adoptando un rol ligado a la orientación y acompañamiento del proceso, facilitando todos los procedimientos diseñados que se lleven a cabo en el ambiente de aprendizaje del cual es parte. Es mediante su acción facilitadora que contribuirá en la reflexión y construirá en conjunto con sus estudiantes los elementos que conforman ese ambiente de aprendizaje. No es adecuado asumir una posición en que la persona docente debe ser experta en todos los aspectos, sino que, por el contrario, sea una persona que puede conectar con diferentes actores de la sociedad, que tenga mayor criticidad y que favorezca procesos de diálogo.

Por ende, el valor de esta propuesta de campamento didáctico se encuentra en la promoción de habilidades para el siglo XXI en las y los docentes en formación participantes del campamento, habilidades que hoy se consideran necesarias en la formación integral de las personas que serán responsables de diseñar y ejecutar procesos educativos en cualquiera de sus expresiones, dentro y fuera del aula o en entornos no formales. En la actualidad se apuesta por un modelo educativo que impulsa a las personas docentes a educar para el desarrollo sostenible. Este modelo educativo plantea un reto importante para presentar la educación de una manera integral, lo cual es particularmente relevante cuando en la educación se tienen que abordar conceptos o nociones vinculadas a los problemas sociales y ambientales que enfrenta la humanidad.

Gran cantidad de fenómenos naturales y desastres ambientales han puesto a la humanidad al borde de sus límites. Este es un reto importante que se debe trabajar de manera muy consciente en los ambientes de aprendizaje. Se sabe que la relación entre el ser humano y su entorno es muy compleja y, por lo tanto, requiere un abordaje amplio que valora diferentes perspectivas: la perspectiva técnica, la perspectiva social, la perspectiva cultural y, por supuesto, la perspectiva económica. Así que, en ese campamento se trató de proveer a las personas participantes de todas esas perspectivas, de manera que resultara atractivo y les permitiera desarrollar estrategias para ponerlas en práctica en su propio desarrollo en las aulas de los colegios en los cuales laboran.

Motivación para la elección de la metodología de indagación científica como elemento vertebrador del campamento didáctico

La propuesta de este campamento adoptó la vivencia de cuatro momentos propios de la metodología por indagación (focalización, exploración, contrastación-reflexión y aplicación), que busca construir el conocimiento partiendo de las experiencias previas y la activación de la motivación intrínseca de la persona participante para profundizar en la temática que engloba la propuesta. En consecuencia, esta dinámica promovió la puesta en práctica del método científico, que implica partir de preguntas generadoras que orientan la recolección de información de diversas fuentes y la contrastación de esa información para el análisis crítico en profundidad de la realidad y la propuesta de diversas alternativas de solución para atender los aspectos identificados en el objeto de estudio investigado.

Para la construcción de esta experiencia fue importante considerar diversos actores relacionados de forma directa o indirecta con la promoción de la erradicación del uso del mercurio en Costa Rica. Así, se contó con el apoyo de representantes de la Universidad de Costa Rica, el Instituto Tecnológico de Costa Rica, la Universidad de San Carlos de Guatemala, CASIO como entidad privada, y la Dirección de Geología y Minas del Ministerio de Ambiente y Energía, brindando su aporte logístico e incorporando sus experiencias en las dinámicas llevadas a cabo en el campamento, enriqueciendo interdisciplinariamente la construcción del conocimiento.

Todas las actividades realizadas tenían como eje central contribuir al desarrollo de la responsabilidad personal, el reforzamiento de contenidos disciplinares, estrategias para su abordaje pedagógico y la sensibilización hacia la construcción de ecosistemas de aprendizaje. Sobre esto último, se privilegió en diversos momentos la discusión acerca de las buenas prácticas para la enseñanza de las ciencias naturales y, específicamente, de la química. Radica la trascendencia de este proceso en que la persona participante esté consciente de que el campamento didáctico no es una experiencia aislada, sino que le permitiría desarrollar recursos, habilidades y criterios necesarios para poder replicarlos más allá en su práctica profesional y vida cotidiana.

En consecuencia, se aprovechó diversas estrategias como:

- Actividades lúdicas de integración y conformación de equipos de trabajo.
- Espacios de focalización que permitan la exposición de ideas previas y el acercamiento en primera instancia a las temáticas por abordar.
- Exploración de las preguntas orientadoras del proceso indagatorio.

- Reflexiones acerca de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en la agenda 2030 como metas medulares a las cuales se puede contribuir desde los procesos educativos.
- Reflexión y contrastación de los resultados obtenidos con las ideas previas en espacios individuales y grupales.
- Discusión sobre la trascendencia del abordaje multidisciplinario de problemáticas ambientales en el contexto de la enseñanza de la química.
- Aplicación de los nuevos conocimientos adquiridos en el análisis crítico de situaciones de mayor complejidad.
- Reflexión sobre el proceso de indagación y la experiencia de campamento.
- Realimentación del proceso.

La clave para el éxito de esta actividad se basó en dos grandes pilares: primero, la multiplicidad de formas de representación de un mismo fenómeno o situación, y segundo, la participación conjunta de múltiples actores provenientes de gran cantidad de instituciones públicas y privadas. Considerando estos elementos se puede afirmar que la experiencia de campamento expuso a las personas participantes a una reflexión crítica que les permitió profundizar sobre la problemática relacionada a las sustancias químicas altamente contaminantes, y de ello derivar en acciones específicas para controlar el uso del mercurio, que, aunque muchas veces pasa desapercibido en nuestra sociedad, tiene un gran impacto. Por este motivo, se apostó por la metodología indagatoria dado que sus cuatro etapas permiten una construcción ontológica centrada en la persona participante.

Cuando se planificó este campamento se pensó en el modelo educativo que plantea la política curricular vigente en Costa Rica, que se orienta hacia el desarrollo de habilidades y el desarrollo sostenible. Se considera fundamental que, en el proceso de enseñanza de las ciencias naturales, los y las estudiantes ejerciten el pensamiento sistémico, es decir, la capacidad para poder ver el todo y las partes en una situación que puede ser realmente compleja. También se busca que puedan utilizar los conocimientos adquiridos para analizar las situaciones que enfrentan en la cotidianidad y tomar decisiones que les permitan vivir plenamente su vida como personas ciudadanas del país y del mundo.

En ese sentido, la metodología de indagación científica fue de gran utilidad para mantener la línea de trabajo a lo largo del campamento para desarrollar esas capacidades en las personas participantes del campamento, muchas de las cuales eran estudiantes en la Escuela de Formación Docente de la Universidad de Costa Rica y de otras universidades amigas que imparten la carrera a nivel

nacional e internacional. Como un factor enriquecedor de la experiencia, adicionalmente participaron personas estudiantes de otras carreras vinculadas con la educación ambiental comunitaria, como la Ingeniería Ambiental.

En este campamento se utilizó como eje transversal la situación del mercurio y cómo se maneja en la sociedad tomando como referentes diversos desastres ambientales que han ocurrido en el pasado, entre los cuales se resaltó el desastre ambiental ocurrido en la bahía de Minamata en Japón para establecer vínculos con un desastre medioambiental que también es profundamente pertinente al contexto costarricense: el caso de Crucitas. En el campamento se dispuso como objetivo no solo transmitir información, sino incidir, por medio de la educación, para que lo ocurrido en Minamata no se replique en Costa Rica.

La vivencia del *Campamento didáctico para el aprendizaje de la química y sus implicaciones medioambientales*

Toda la experiencia del campamento didáctico empezó con el viaje hacia la Estación Experimental Alfredo Volio Mata de la Universidad de Costa Rica, en la cual se desarrolló el campamento. Esta fue una oportunidad para evidenciar la riqueza natural de Costa Rica, por lo tanto, actuó como un buen preámbulo para lo que se iba a realizar en el campamento. Dado que el componente emocional es fundamental para que el proceso educativo resulte significativo para las personas estudiantes, se participó en una experiencia de narrativa oral por parte del Dr. Antonio Lorca, experto invitado de la Universidad de Huelva, España. En definitiva, esta actividad permitió generar conexiones entre lo académico y lo lúdico.



Figuras 41 y 42. Vista aérea de la Estación Experimental Alfredo Volio Mata, lugar donde se realizó el *Campamento para el aprendizaje de la química y sus implicaciones medioambientales*.

En conformidad con la secuencia de la metodología de indagación científica, se inició con una etapa de focalización, cuyo objetivo es explorar los preconceptos que todas las personas participantes y construir una base común sobre la cual trabajar en las diferentes actividades. Con un material audiovisual que presentaba la experiencia vivida en Minamata, Japón y la pregunta generadora:

¿De qué manera podemos contribuir a reducir los riesgos asociados a la contaminación con metales pesados a través de la aplicación de la Química?

se ofreció a los y las participantes el espacio para compartir sus primeras ideas en relación con esta pregunta que determina la totalidad de la secuencia metodológica de indagación científica.

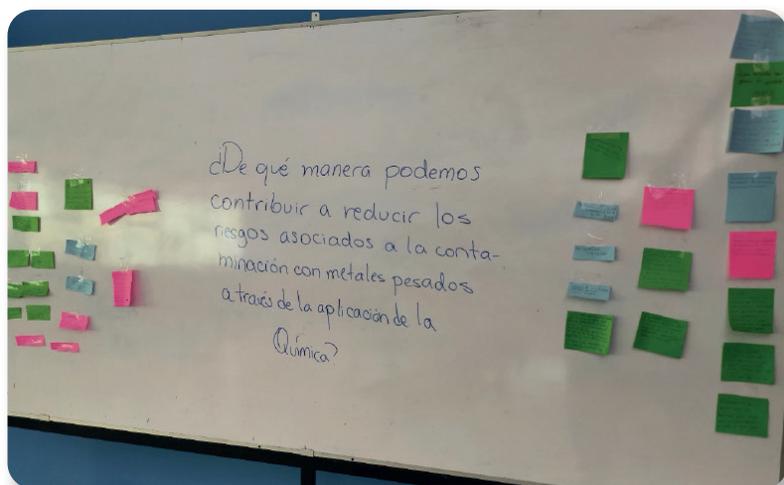


Figura 43. Resultados de la etapa de focalización. Fuente: Jason Vargas (2019).

En la segunda fase, la etapa de exploración, los y las participantes tuvieron la oportunidad de experimentar con una actividad de laboratorio en la cual desarrollaron procedimientos para la identificación de cationes metálicos (no contaminantes). Esta etapa busca que las personas participantes conocer el trabajo que científicos y científicas realizan en el diagnóstico de la presencia de sustancias contaminantes en el ambiente, lo cual les permite interiorizar los contenidos disciplinares asociados al contexto que actúa como tema central del proceso educativo en la metodología indagatoria. Así pues, llevaron a la práctica los conocimientos

disciplinares de la química, la geología y la pedagogía para analizar el abordaje de este tema dentro de los espacios educativos. También se ponen en práctica habilidades comunicativas y trabajo en equipo que son elementales para el trabajo científico y su enseñanza.



Figuras 44, 45 y 46. Actividades durante la etapa de exploración con un laboratorio de caracterización de cationes metálicos.

Fuente: Jesús Alberto Garro Umaña y Juan Gabriel Coto Rodríguez.

Posteriormente, en la etapa de contrastación y reflexión, los y las participantes fueron parte de una secuencia de charlas que les proveyeron de insumos conceptuales para comprender de manera holística la problemática provocada por la contaminación con mercurio, los esfuerzos de diversas organizaciones públicas y privadas en esta línea y las implicaciones sociales, económicas y ambientales que convergen en la generación de alternativas de solución. Primero se desarrolló un conversatorio con personas expertas invitadas de la Universidad de Costa Rica, el Instituto Tecnológico de Costa Rica, la Universidad San Carlos de Guatemala, REDEIS y ASEPRO, seguido por una charla sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible y el papel de la persona educadora como promotora del empoderamiento juvenil desde la práctica educativa.



Figura 47. Charla del Lic. Juan Gabriel Coto Rodríguez sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible y el papel de la persona educadora como promotora del empoderamiento juvenil desde la práctica educativa.

Fuente: Jesús Alberto Garro Umaña.

Se cerró el segundo día de campamento con una charla con la M.Ed. Eugenia Rodas López (Universidad San Carlos de Guatemala) y la Lic. Ileana Boschini López (Directora de Geología y Minas del Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica), quienes compartieron sobre las características toxicológicas del mercurio y las implicaciones ambientales de la minería a cielo abierto. Esta experiencia enriquecedora dio espacio a una discusión en la que resaltó el análisis crítico desde diversas aristas sobre la problemática específica que se está viviendo en Costa Rica con la explotación minera ilegal del oro en Crucitas.



Figuras 48 y 49. Charla de la M.Ed. Eugenia Rodas y la Lic. Ileana Boschini sobre la toxicidad de mercurio e implicaciones ambientales de la minería a cielo abierto.

Fuente: Jesús Alberto Garro Umaña y Juan Gabriel Coto Rodríguez.

La última fase de aplicación inició con una charla breve del Lic. Jesús Alberto Garro Umaña sobre la implementación de la metodología de indagación científica en los contextos educativos de enseñanza de las ciencias. Posteriormente, con esa base conceptual y lo aprendido durante las etapas previas se invitó a los y las participantes a diseñar y actuar la ejecución del abordaje educativo de una situación vinculada con el manejo de mercurio en la vida cotidiana o incluso en un centro educativo en la forma más realista posible. De esta manera se dio una oportunidad adicional para la colaboración y la reflexión sobre la presencia del mercurio en la cotidianidad. Esto motiva a tomar decisiones orientadas por un estilo de vida saludable, no sólo desde la perspectiva individual, sino desde la perspectiva de la salud comunitaria.

Se consideraron situaciones diversas, desde supuestos accidentes con mercurio en las casas (como quebrar un bombillo) hasta accidentes con mercurio en el laboratorio químico del colegio. Todo esto permitió visualizar formas diferentes de atender la complejidad desde la pedagogía crítica y sistemática, mediante acciones sencillas que promuevan en las personas estudiantes el posicionamiento personal y la toma de decisiones que favorezcan la protección del equilibrio ambiental. Este tipo de situaciones permitieron contextualizar los tópicos en estudio y se contribuyó a brindar herramientas prácticas efectivas para propiciar en las aulas una dinámica activa y significativa cuando se aborda contenidos disciplinares y situaciones como las evidenciadas, en la que confluyen saberes teórico-prácticos de las ciencias naturales y sociales.



Figura 50. Trabajo colaborativo y creativo en la etapa de aplicación.
Fuente: Jesús Alberto Garro Umaña.

La opinión de las personas participantes y gestoras del Campamento didáctico para el aprendizaje de la química y sus implicaciones medioambientales

Tabla 2. Percepción relacionada con la utilidad de los conocimientos construidos durante el Campamento didáctico para el aprendizaje de la química y sus implicaciones medioambientales

Son cosas que no sabía, que se deben difundir y también se aprendieron distintas maneras de difundirlo.
Sí porque el conocimiento se adquirió con base en el ciclo de indagación propuesto por el MEP por lo que más allá del conocimiento como tal se buscó desarrollar habilidades y aprender haciendo.
Puede ser una metodología muy aplicable a cualquier situación en la que se necesita transmitir información además de nutrir la información disponible de diversas problemáticas del país y de herramientas que le ayuden a definir proyectos o enfoques.
Son muy útiles en dos aspectos: 1. Conocer y entender la problemática de los metales pesados es de suma importancia para todo ciudadano de Costa Rica. 2. La parte de cómo enseñar utilizando metodología de indagación y reflexionar acerca de mi propia práctica y experiencia es muy importante en la labor docente.
Se aprendió más sobre la metodología de indagación y que no se debe concentrar únicamente en los contenidos sino también la importancia de los ODS e involucrar más a los estudiantes con su comunidad.
Fue muy importante conocer personas que quieren aprender y enseñar sobre el peligro de algunos metales pesados, además que no tenía conocimiento de muchos tópicos desarrollados.
Claro que sí. La contaminación por metales pesados, en Costa Rica es demasiado común, y en las sesiones se logró obtener información verídica. Que con posterioridad se puede transmitir a otras personas, para que, también se informen adecuadamente y por supuesto, hacer uso de ella en el aula como docentes.

<p>Es imprescindible que los docentes de ciencias seamos conscientes de las problemáticas ambientales que se enfrentan hoy en día, esto con el objetivo de poder crear conciencia en nuestros estudiantes sobre los mismos y como actuar ante ellos. Este campamento no solo nos proporcionó información sobre la problemática con el mercurio, si no también nos permitió experimentar por primera vez un proceso de indagación.</p>
<p>Son de muchísima utilidad, porque necesitamos formar estudiantes capaces para a vida que hay afuera y no solo formar estudiantes llenos de conocimiento no aplicado.</p>
<p>Como futura docente haber vivido una experiencia de aprendizaje por indagación a la que nunca antes había estado expuesta, me permitió aterrizar ideas y aclarar dudas que surgen cuando solo tienes un acercamiento teórico a la metodología de indagación.</p>
<p>Información provechosa en pro del medio ambiente y las maneras en que puedo desde mi cotidianidad reducir el uso y consumo de mercurio.</p>
<p>Hay cosas sobre los metales pesados que no sabía, principalmente como manipularlo en caso de un termómetro quebrado o otro equipo que contenga este elemento.</p>
<p>Si, por la aplicación que se dará en el lugar de trabajo como docente, y en mi centro de estudios.</p>
<p>Proporciona estrategias para abordar el tema en el ámbito escolar, así como si se dispone de mercurio en el laboratorio.</p>
<p>Aplicación a los estudiantes que les imparto clases.</p>
<p>En mi caso, al estar desarrollando una investigación alrededor del mercurio, todo lo construido es de gran utilidad, ya que fortalece lo que ya se, y hace grandes aportes.</p>
<p>Nos dan insumos para tomar posición sobre temas país en su dimensión social y ecológica.</p>
<p>Son temas de actualidad que tienen impacto a nivel personal, institucional, nacional e internacional.</p>
<p>Porque serán aplicados en los estudiantes en su formación.</p>
<p>El abordaje de los temas fueron de aplicabilidad diaria y docente.</p>

Se pueden aplicar en muchas otras temáticas interdisciplinarias, por qué no, con otros departamentos para abordar la misma problemática pero distintos escenarios (social, ambiental,...). En este momento cambié la última actividad de sétimo nivel entorno a la problemática, en la que deben buscar información, entrevistar al personal y estudiantes, y luego hacer un documento sobre los resultados y la información clave sobre el tema.

Nota: En esta tabla 2 se presentan las opiniones de las personas participantes en el Campamento.

Fuente. Elaboración propia a partir de la evaluación que los participantes realizaron en relación con el campamento didáctico para el aprendizaje de la química

Tabla 3. Fortalezas del campamento *didáctico para el aprendizaje de la química y sus implicaciones medioambientales*

Las relaciones entre distintas instituciones educativas y la manera de crear conexiones y conocer personas que se dedican a lo mismo.
El poder compartir con personas de diferentes áreas en unas instalaciones que presenten todas las comodidades en cuanto a tecnología, descanso, alimentación y transporte. Además, la metodología de indagación.
Al estar en un ambiente aislado le permite a la persona estar presente durante todo el proceso, ayuda a realmente involucrarse con el tema a tratar.
La persona experta en minería sin duda es fundamental en el campamento. Las instalaciones son perfectas para el tipo de campamento. Las actividades grupales y de interacción es excelente para socializar y construir ideas.
Quiénes lo impartieron quieren hacer un cambio, mostrarnos cómo deberían ser nuestras clases sin enfocarnos en la presión de aprender un contenido
El persona, la organización y las instalaciones.
La integración completa de todos los participantes por parte de los anfitriones en los temas tratados.
La metodología utilizada fue excelente. Los coordinadores excelentes. La temática abordada súper interesante.
Me pareció que una de las fortalezas es la capacidad de poder desarrollar un proceso de indagación en personas que antes no habían tenido la oportunidad de vivirlo en carne propia.

Dirige el pensamiento de los participantes hacia una ruptura de los espacios de enseñanza, que busca un apropiamiento de los temas por parte del discente.
Tiempo (los tres días del campamento), espacio, disposición de los participantes.
Participación de docentes de ciencias y carreras relacionadas, tipo de metodología utilizada para enseñar el contenido, en este caso fue por indagación, el ambiente y la relación con las personas. Espacio que da libertad de dar diferentes opiniones.
Conocimiento del tema, innovación en las practicas educativas.
Muy participativo, las personas pudieron aportar desde sus diferentes perspectivas.
Su organización.
Los facilitadores son la fortaleza de este campamento.
Capacidad para aprender y enseñar por medio del método inductivo. Participación muy rica en cuanto a sus ponentes e invitados. Las temáticas conversaban son además de interés nacional.
Es una actividad interinstitucional, internacional y una iniciativa público privada.
Su organización, la participación activa de profesionales, la preparación académica de los expositores.
Disponer de un ambiente destinado únicamente para la actividad.
Fue curioso, pero todos a pesar de ser se distintos niveles y áreas disciplina-rias nos acoplamos permitiendo, desde luego junto con los mentores, hacer un espacio libre de diálogo... No nos sentimos evaluados, por el contrario sentimos que aprendimos sobre la problemática muchísimo y sobre todo la forma de abordarlo mediante la indagación, eso me sirvió para enfocar no solo mi estrategia de aula en Indagación sino también fuera del aula como giras.
Quizá hacer más actividades lúdicas utilizando el espacio tan bonito que había, y bueno me encanto en realidad no tengo nada en particular que me gustaría cambiar.

Nota: En la tabla 3 se presentan las opiniones de las personas participantes en el Campamento.

Fuente. Elaboración propia a partir de la evaluación que los participantes realizaron en relación con el campamento didáctico para el aprendizaje de la química

Otras opiniones del campamento se reflejan en las siguientes comentarios:

“Es importante participar en este tipo de eventos relacionados con la educación ambiental, La decisión de ofrecer equipos amigables con el ambiente para contribuir con el mundo, con el medio ambiente y probar que se puede ser económicamente viable y hacer negocios con productos ambientalmente amigables”.

Carlos Carvajal Benavides (2020)

“Se debe sensibilizar sobre la problemática alrededor de la gestión del mercurio, sus residuos y dónde se encuentra, ya que existe un nivel de desconocimiento muy importante sobre los entornos en los que se puede encontrar el mercurio, principalmente en entornos cotidianos, en donde se siembre y multiplique conocimiento para que la sociedad entienda los riesgos alrededor del mercurio”.

*Edwin Leitón Zúñiga, (2019),
en ese momento representaba El Orbe.*

“El desarrollo sostenible al cual se aspira requiere de múltiples acciones por parte de muchísimos actores involucrados en la sociedad. En Costa Rica las instituciones enriquecen este objetivo de desarrollo sostenible, sus acciones se complementan para lograr las metas que se quieren lograr”.

Jesús Garro Umaña,
Docente del área de ciencias (2020).

“La Unidad de Gestión Ambiental participa en esta actividad para crear una cultura ambiental, esto parte de un nuevo nivel de conciencia en el que cada persona conoce su impacto, por ejemplo, al utilizar productos o generar residuos como el mercurio.

El cambio de tecnologías y la aceptación de buenas prácticas ambientales es parte de lo que buscaba esta actividad, además de abrir un poco la mentalidad y dejar una semilla de nueva cultura ambiental en la que se es consciente de aspectos como el consumo y el impacto, así como las buenas prácticas que se pueden implementar desde cualquier ámbito”.

Emilia Martén
*Coordinadora de la Unidad de Gestión Ambiental,
Universidad de Costa Rica (2019).*

“En este proceso la conformación de redes será muy importante. El trabajo que está realizando la Red Costarricense de Instituciones Educativas Sostenibles (REDIES) es de gran importancia y relevancia a nivel nacional e internacional debido al trabajo en investigación, en educación y en la generación de indicadores de gestión en los campus universitarios, lo cual se realiza de manera conjunta”.

Manrique Arguedas Camacho
*Coordinador de la Red Costarricense de Instituciones
Educativas Sostenibles, REDIES (2019).*

Esta perspectiva de desarrollo sostenible en educación impulsa a promover ambientes de aprendizaje enriquecedores, en los cuales no solamente se tenga acceso a contenidos de aprendizaje, sino también a experiencias de transformación social, tal como las vividas en el campamento.

Jesús Garro Umaña,
Docente del área de ciencias (2020).

“Para los docentes en la Universidad de San Carlos, como una escuela dedicada a la formación de docentes, es importantísimo participar en estos espacios, los cuales se busca replicar en Guatemala. Esta es la misión de la Escuela, llevar este conocimiento a muchos más estudiantes, que son profesores replicadores de numerosos estudiantes, y que estos estudiantes también compartan este saber en sus hogares, logrando un efecto multiplicador”.

Eugenia Rodas López,
*Jefa de Cátedra de Educación Ambiental y Ciencias Naturales,
Universidad de San Carlos, Guatemala, (2019).*

“La experiencia adquirida se podrá replicar allá para adquirir más conocimiento y examinar cómo este asunto está afectando a los guatemaltecos, ya que este es un problema a nivel mundial”.

Pedro Villaseñor,
*Representante Universidad San Carlos y
del Instituto Guillermo Putzeys Alvares de Guatemala (2019).*

“Este campamento es muy importante pues permite trasladar toda la información adquirida a los estudiantes en Guatemala, quienes actúan como factores multiplicadores y transmiten este conocimiento en sus hogares”.

Diana Dardón Tejada,
*Docente del área de ciencias,
Representante Universidad San Carlos, Guatemala, EFPEM.
(2019)*

“El proyecto ENLACE (organizador del campamento) es una iniciativa de la Vicerrectoría de Acción Social, de la Universidad de Costa Rica, que se desarrolla desde la Facultad de Educación, su objetivo principal es conectar otros proyectos de acción social que se desarrollan en la universidad para relacionarlos con proyectos y programas del Ministerio de Educación Pública, tratando de disminuir el índice de deserción escolar.

En el campamento, se trabajó con profesionales o futuros profesionales en el área de la enseñanza de las Ciencias, por lo tanto, el efecto de ellos es multiplicador en su experiencia como docente. Con este proyecto ambiental se espera que, además de compartir los saberes y experiencias de los participantes, se pueda sembrar la semilla para futuros proyectos”.

María Marta Camacho Álvarez,
Universidad de Costa Rica (2019).

Agradecimientos

Finalmente, se agradece a todos los actores sociales involucrados para que este proyecto se lograra de forma exitosa, quienes son también las fuerzas que impulsan el avance del país hacia estas metas de desarrollo sostenible. Tal como un espejo, que refleja la parte objetiva y subjetiva de las cosas, a través de este libro se han visto las diferentes percepciones del mercurio a través del lente de muchos especialistas, de personas que están realizando actividades y proyectos en torno al control del uso del mercurio.

Anexos del capítulo

Información en los medios

Anexo 1

Figura 51

Noticia de la Facultad de Educación de la Universidad de Costa Rica



El proyecto ENLACE de la Facultad de Educación de la Universidad de Costa Rica, organizó el Campamento didáctico para el aprendizaje de la química y sus implicaciones medioambientales. El evento tuvo como objetivo principal: fomentar el análisis de la problemática social y ambiental por contaminación con mercurio y otros metales pesados. Dirigido a docentes en formación de la enseñanza de las ciencias.

En el país existe mucha desinformación sobre las formas en que comúnmente nos exponemos ante estos metales y las consecuencias que su liberación atmosférica le significan al bienestar humano y ambiental. La exposición al mercurio en cualquiera de las formas (Incluso a pequeñas cantidades) puede resultar tóxica para los sistemas nervioso e inmunitario, el aparato digestivo, la piel, los pulmones, ojos y especialmente los riñones, con consecuencias muchas veces fatales. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el mercurio es uno de los diez productos químicos que plantean especiales problemas de salud pública.

La circunstancias actuales en Costa Rica, caracterizadas no solo por la inserción a un mercado mundial del que importamos productos y alimentos con alto contenido de mercurio, sino también por la reapertura de un debate sobre la posibilidad de continuar con la producción minera en el país, (principal fuente antropogénica del metal); demanda profesionales de la educación conscientes de esta problemática y habilidades para transmitirla en las aulas.



Anexo 2

Figura 52

Noticia de la Vicerrectoría de Acción Social de la Universidad de Costa Rica

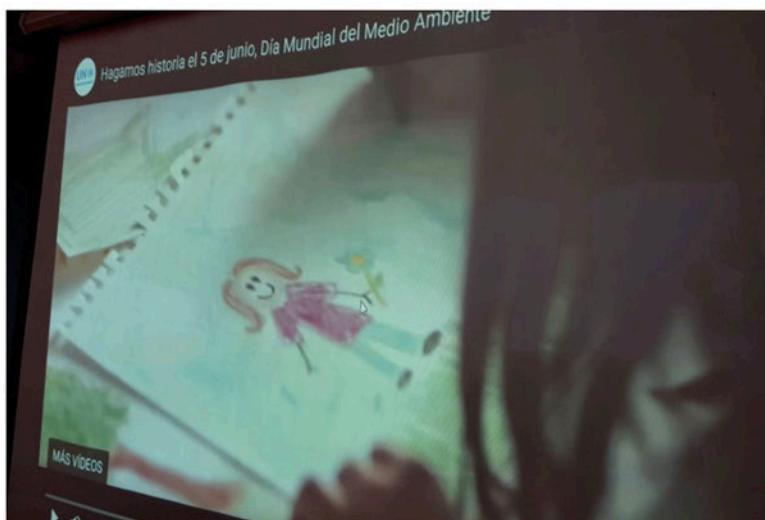


UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Futuros docentes de Enseñanza de las Ciencias son clave en la relación del ser humano con el ambiente

Proyecto "Enlace" del Ministerio de Educación Pública y la UCR

8 OCT 2019 Sociedad



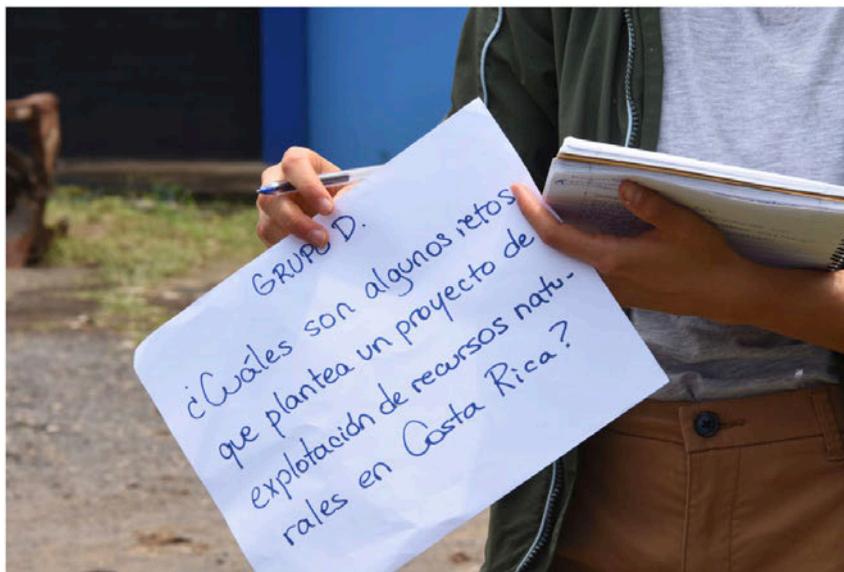
La relación del ser humano con el ambiente es un aspecto álgido que reviste gran importancia en el desarrollo tecnocientífico, estableciendo fuertes conexiones con discusiones de carácter ético, social, económico y político que no pueden ser descuidadas en el aprendizaje de la ciencia.

En la sociedad de la información y el conocimiento, la formación científica y tecnológica de las generaciones jóvenes es una cuestión ineludible. Ante esta premisa, el proyecto "Enlace" suma la colaboración de la Universidad de Costa Rica con el Ministerio de Educación Pública, para vincular los proyectos de Acción Social de la UCR con los centros educativos de primaria y secundaria. El fin es incidir en la disminución del índice de exclusión estudiantil, desde un enfoque integral que aporte al estudiantado las habilidades y conocimientos necesarios para desenvolverse adecuadamente en un entorno social complejo y en constante cambio.

Como parte de dicho proyecto se realizó el "Campamento didáctico para el aprendizaje de la química y sus implicaciones medioambientales", entre el 27 y 29 de setiembre, en la estación experimental de la UCR Alfredo Volio, en Ochomogo de Cartago. Este campamento, dirigido a 18 futuros docentes en formación de la Enseñanza de las Ciencias, de las universidades públicas, buscó fomentar en ellos el análisis de la problemática social y ambiental por contaminación con mercurio y otros metales pesados en el país. El evento retomó el uso de metales pesados como el mercurio en actividades productivas, para orientar a los campistas sobre el aprendizaje de las relaciones entre la química y sus implicaciones en el ambiente.

Un docente de la enseñanza de las ciencias cada vez más consciente de su rol

Las circunstancias actuales en Costa Rica, caracterizadas no solo por la inserción a un mercado mundial del que importamos productos y alimentos con alto contenido de mercurio, sino, también, por la reapertura de un debate sobre la posibilidad de continuar con la producción minera en el país, demanda profesionales de la educación conscientes de esta problemática.



Los futuros docentes analizaron durante el campamento el impacto en el desarrollo sostenible de un manejo adecuado de productos químicos y metales pesados en las actividades cotidianas y productivas locales.

En Costa Rica, existe mucha desinformación sobre las formas en que comúnmente nos exponemos a los metales pesados y las consecuencias que su liberación atmosférica le significan al bienestar humano y ambiental. La exposición al mercurio, por ejemplo, en cualquiera de las formas, incluso en pequeñas cantidades, puede resultar tóxica para los sistemas nervioso e inmunitario, el aparato digestivo, la piel, los pulmones, ojos y, especialmente, los riñones, con serias consecuencias. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el mercurio es uno de los diez productos químicos que plantean especiales problemas de salud pública.

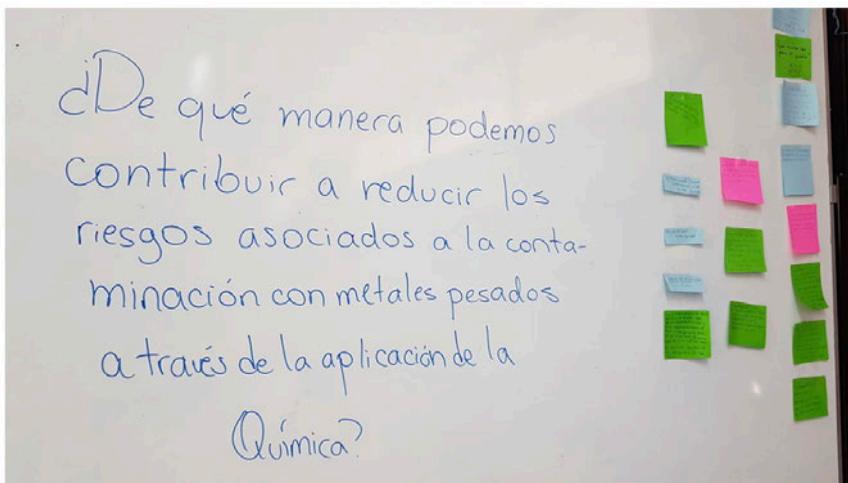
Ante esa realidad el proyecto "Enlace" reúne los esfuerzos socioeducativos la Vicerrectoría de Acción Social y la Facultad de Educación de la Universidad de Costa Rica, así como de la Universidad Nacional, el Instituto Tecnológico de Costa Rica, la Universidad San Carlos de Guatemala, la Universidad de Huelva, España, así como también el apoyo de la Asociación Asepro Centroamericana, para la formación de profesionales conscientes de la necesidad de erradicar el uso del mercurio y el combate de sus efectos.

Dicho campamento tuvo un componente de educación ambiental que priorizaba el posicionamiento personal para la toma de decisiones que incidan en la transformación del estudiantado como agentes de cambio social en su entorno comunitario específico. Se trató de una experiencia educativa que les empoderara por medio de la toma de decisiones informadas y coherentes con los principios del desarrollo sostenible.

Esta actividad adquiere propósito y sentido en el marco de una educación científica para una nueva ciudadanía, en el contexto del desarrollo sostenible que plantea el Ministerio de Educación Pública: una educación científica concebida como un proceso integral e integrador, centrado en la persona estudiante como sujeto transformador de la sociedad y del entorno natural.



Estudiantes del Bachillerato en la enseñanza de las ciencias naturales de las universidades públicas costarricenses, preferiblemente con alto interés en nuevas metodologías para la indagación científica y la utilización de las TIC para su desarrollo, trabajaron juntos en esta propuesta.



El campamento fue un espacio propicio para la discusión interdisciplinaria sobre los factores relacionados y posibles soluciones para la problemática de contaminación por metales pesados en el país.



María Encarnación Peña Bonilla
Periodista, Oficina de Divulgación e Información
Áreas de cobertura: educación y estudios generales
maria.penabonilla@ucr.ac.cr

Figura 53

Noticia elaborada por el proyecto ENLACE TC 722,
de la Universidad de Costa Rica



Campamento didáctico sobre química se realizará en la UCR

- *Mercurio, efectos y esfuerzo de Costa Rica por erradicarlo serán algunas de las temáticas*
- *El mercurio es uno de los diez productos químicos que plantean especiales problemas de salud pública*

Diariamente nos rodeamos de instrumentos tecnológicos, productos y dispositivos que facilitan nuestra vida: fluorescentes, termómetros, baterías, cosméticos o plaguicidas. Con dificultad encontraríamos personas que pudieran negar haber recogido alguna vez los vidrios de un fluorescente roto, desechar o rociar un agroquímico, o requerir de una amalgama dental. Todos estos componentes guardan en común la característica de poseer en alguna u otra medida determinadas **dosís de mercurio (Hg), un metal que a temperatura ambiente se presenta en estado líquido y que al evaporarse se vuelve altamente peligroso**. Sin embargo, rara vez advertimos los riesgos que guarda este elemento por su capacidad para bio acumularse en el cuerpo y el ambiente.

Al mercurio lo encontramos también en nuestra dieta, alimentos como los mariscos o el pescado figuran entre los principales almacenadores. La extracción de oro y otros minerales como el carbón figuran entre las principales fuentes antropogénicas de la liberación del metal a la atmósfera. Costa Rica tiene una historia aún no resuelta de luchas ambientales contra su extracción; de ahí que sea más que necesario conocer acerca de los efectos que tiene su manipulación en la salud humana y sus repercusiones ambientales. **La exposición al mercurio en cualquiera de las formas (incluso a pequeñas cantidades) puede resultar tóxica para los sistemas nervioso e inmunitario, el aparato digestivo, la piel, los pulmones, ojos y especialmente los riñones, con consecuencias muchas veces fatales**. Para la Organización Mundial de la Salud (OMS), el mercurio es uno de los diez productos químicos que plantean especiales problemas de salud pública.

Por esta razón, el proyecto ENLACE de la Universidad de Costa Rica (UCR), organiza un **campamento didáctico para el aprendizaje de la química** y sus implicaciones medioambientales en el que se retomarán aspectos relacionados con el mercurio, sus efectos y el esfuerzo de Costa Rica por erradicarlo. El campamento está dirigido a las y los futuros docentes de enseñanza de las ciencias de la UCR, el Instituto Tecnológico de Costa Rica, la

Capítulo XI

Análisis de las tendencias exhibidas durante los cursos ESAM 2020-2021

Oscar Campos Guevara

Habiendo ya caracterizado la naturaleza tóxica y contaminante del mercurio, así como los antecedentes epidemiológicos y crisis de salud pública que su uso ha provocado en la región y en el mundo entero, habiendo revisado los esfuerzos internacionales en la materia y los compromisos que una pequeña nación centroamericana ha decidido adoptar en los últimos 5 años, y habiendo entendido el papel que juegan los sectores público-privados y la educación ambiental en la gran problemática que el mercurio representa, resulta finalmente pertinente develar los resultados que la presente iniciativa arrojó durante el período 2020-2021. El instrumento educativo “Educación en salud ambiental para el control de la contaminación por mercurio, la exposición y el riesgo a la salud” (conocido como ESAM) se implementó desde un inicio con una mentalidad pedagógica; una que pretendía contribuir al conocimiento de quienes participaran e influir positivamente en sus acciones. Si bien los frutos de esta pedagogía resultan a todas luces evidentes, un *hacia dónde vamos* que cada capítulo del presente libro se encarga de abordar, el de dónde venimos resulta igual de relevante. Es sobre este punto de partida que los organizadores detrás de cada edición ESAM han buscado construir y aportar conocimiento a los participantes, considerando sus experiencias de vida y las creencias que exhiben de previo a los módulos de cada edición del ESAM. Todas estas han llevado a la delimitación de tendencias que se analizarán a continuación.

Si bien los participantes de las distintas ediciones cuentan con un perfil crítico e indagador; son miembros informados de su comunidad y actores sociales com-

prometidos; prueba de ello es que matricularan el curso; también es cierto que, como sujetos inmersos en una determinada cultura y sociedad, los participantes replican el constructo o modelo social al que están acostumbrados. En dicho modelo es que nacen, se desarrollan y creen firmemente, por lo que cambiar estas mentalidades arraigadas puede resultar especialmente complejo. Conforme se fueron abordando cada uno de los módulos, se vio en las distintas ediciones que los participantes parecían exhibir ciertas tendencias comunes, derivadas de sus modelos y creencias preexistentes, que podían resultar en una contradicción con la materia o ser disímiles en cuanto a lo enseñado. Cinco de estas tendencias mostraron gran recurrencia a través de los años, no solo en una muestra aleatoria sino en el grueso de la población que participó:

1. Asociación de la compra, sustitución y reducción de productos que contengan mercurio con el ámbito doméstico: Queda claro que son los habitantes de un hogar quienes deciden qué productos comprar mes a mes para el consumo intradomiciliario. Serán estos mismo entonces, quienes decidan cuáles productos reemplazar, reducir o eliminar eventualmente. Se trata de un acto básico de libertades y derechos individuales que los ciudadanos ya dan por un hecho en sus comunidades y sus países respectivos. Obviar el papel de las formas superiores de organización, sin embargo, no sería prudente al estudiar el caso del mercurio y otros tóxicos / contaminantes. Las políticas públicas en materia de protección al consumidor muchas veces salvaguardan la salud de los individuos de los intereses comerciales (sociopolíticos) que algunas empresas y productores puedan tener e intentar priorizar.
2. Asociación de la clasificación y manejo de residuos que contienen mercurio con el ámbito comunal: Puede explicarse porque los gobiernos centrales muchas veces delegan labores “no fundamentales” a la jurisdicción y supervisión de los gobiernos locales. Si bien los gobiernos nacionales siguen siendo responsables de garantizar un ambiente adecuado para el desarrollo de la actividad humana, son las municipalidades, alcaldías y otras formas de gobierno local en Centroamérica a las que se les confía la cobertura y provisión del servicio de recolección de residuos. De ellas se espera un adecuado manejo de desechos y es a estas mismas que los participantes consideran más lógico se supedite un eventual servicio de disposición de residuos que contengan mercurio. En síntesis, la tendencia se explica por la extrapolación de un fenómeno que ya existe, pero no considera la valiosa contribución que otros sectores demográficos de la sociedad (el doméstico y el nacional) pueden ofrecer.
3. Asociación de los procesos de educación ambiental para el control de la contaminación, exposición y riesgos por mercurio con el ámbito comunal: No resulta un secreto que al igual que la recolección de residuos, la labor

y responsabilidad de educar a la población muchas veces se deposita en manos de los actores comunales y son estos quienes dan la cara en las distintas regiones en vez de un gobierno nacional. En última instancia, no obstante, son los ministerios y los jerarcas a nivel país quienes guían las políticas en materia de educación y emiten los lineamientos que cada cantón, distrito o circuito escolar deben acatar. En resumidas cuentas, se trata de nuevo de un fenómeno de extrapolación. La educación ambiental, sin embargo, puede también entenderse a través del lente de la ciudadanía ambiental, que establece la necesidad de que sean los mismos ciudadanos (a nivel individual) quienes muestren interés y compromiso con la conservación del medio ambiente que los rodea, involucrándose en los procesos de toma de decisiones y tomando roles activos en vez de mostrar pasividad.

4. Asociación de la toma de medidas a nivel institucional, legal, reglamentario o con respecto al Convenio de Minamata con el ámbito país: A primer avista, parecería lógico pensar que sea la unidad organizacional más grande; no solo una comunidad y mucho menos un hogar que corresponda a un solo núcleo familiar; la que se encargue de tomar decisiones que afecten a todo un país. Al fin y al cabo, fueron los estados miembros de las Naciones Unidas los que adoptaron a partir del 2017 el Convenio de Minamata. Las experiencias vividas en algunos países, no obstante, ponen de manifiesto que la voluntad política no puede nunca anteponerse a las necesidades sociales y económicas de las comunidades; cuando esto ha sucedido, los gobiernos de turno reciben férreas críticas y oposición. De hecho, el mismo Convenio de Minamata reconoce en múltiples artículos que el phase down o reducción gradual del mercurio y la actividad humana que de este se deriva es más factible en muchas ocasiones que un phase out o erradicación total y repentina. Esto por cuanto muchas personas (y por ende hogares y comunidades) dependen económicamente de las actividades que se basan en el uso del mercurio y proscribir sus ingresos súbitamente pondría en riesgo su calidad de vida. En síntesis, la realidad comunal no siempre es congruente con la ambición estatal e intentar homologarlas forzosamente nunca ha acabado bien en el caso del mercurio.
5. Asociación de la articulación entre la empresa estatal y privada con el ámbito país: Las alianzas público-privadas son sujeto constante del escrutinio social y los países centroamericanos no son la excepción. Aquí son los gobiernos y formas superiores de organización quienes retienen la potestad de pactar acuerdos con socios estratégicos. La realidad social, no obstante, nuevamente juega un papel fundamental que no puede ser despreciado por ningún mandatario; las necesidades de la población deben ser tomadas siempre en cuenta para evitar que una empresa busque lucrar a expensas de un determinado sector social. Asimismo, los hogares y las comunidades

deben ser cuidadosamente estudiados dentro del modelo de negocios y públicos meta de cualquier empresa que desee posicionarse en un determinado mercado. Es así como la influencia de un gobierno central únicamente puede comprenderse en paralelo a la injerencia de otros sectores sociales más pequeños y regionales.

Es quizás a través de estas tendencias, que pueden tomarse como puntos de partida, que futuras ediciones del ESAM podrán establecer sus objetivos y cuantificar su progreso en materia de educación ambiental. Al comparar futuros datos con índices y estadística ya establecidos, los organizadores del curso podrán medir el impacto de cada edición con su labor auto asumida de contribuir al bien social.

Referencias bibliográficas

- Arguedas Camacho, M. y Salazar Vargas, G. (2020) *Educación en salud ambiental; un aporte de la Red Costarricense de Instituciones Educativas Sostenibles*. Educación en Salud Ambiental para el control de la contaminación por mercurio, la exposición y el riesgo a la salud. Costa Rica.
- Chamizo García, H. (2020) *El Mercurio y sus efectos en la salud*. Educación en Salud Ambiental para el control de la contaminación por mercurio, la exposición y el riesgo a la salud. Costa Rica.
- Consejo Universitario UCR (2008) *Acta de la sesión 5303*. Pronunciamiento: Declaratoria de interés público y conveniencia nacional del Proyecto Minero “Crucitas” Universidad de Costa Rica.
- Coto Rodríguez, J. y Garro Umaña, J. (2020) *Análisis de la problemática social y ambiental por contaminación con mercurio y otros metales pesados a través de la metodología de indagación usando como estrategia didáctica el desarrollo de un campamento*. Educación en Salud Ambiental para el control de la contaminación por mercurio, la exposición y el riesgo a la salud. Costa Rica.
- Couso, D. (2014). De la moda de “aprender indagando” a la indagación para modelizar: una reflexión crítica. En M. Á. de las Heras, A. Lorca, B. Vázquez-Bernal, A. M. Wamba y R. Jiménez-Pérez (Eds.), *Investigación y transferencia para una educación en ciencias: un reto emocionante* (Actas de los 26 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales). Huelva: Universidad de Huelva.
- García Hernández, M. y Carvajal Benavides, C. (2020) *Prácticas saludables en organizaciones: Proyectando el futuro*. Educación en Salud Ambiental para el control de la contaminación por mercurio, la exposición y el riesgo a la salud. Costa Rica.

González-Estecha M. et al. (2014) Efectos sobre la salud del metilmercurio en niños y adultos; estudios nacionales e internacionales *Nutrición Hospitalaria*. 2014;30:969-988 Madrid. doi.org/10.3305/nh.2014.30.5.7728

Kioskos ambientales UCR (2008). *Resumen de la posición del Consejo Universitario sobre Crucitas*. Universidad de Costa Rica.

Leitón Zúñiga, E., (2020) *En el uso adecuado y responsable de residuos y de metales como el mercurio, se encuentra nuestra capacidad de hacer un cambio*. Educación en Salud Ambiental para el control de la contaminación por mercurio, la exposición y el riesgo a la salud. Costa Rica.

Lorca, A. A., Retana-Alvarado, D. A., y Ferreras, M. (2020). La mediación de conflictos socio-científicos en el aula de Ciencias. Los juegos de rol en dos contextos, Costa Rica y España. En E. Ordoñez, E. J. Delgado, M. M. Hernández y Carlos Hervás (Eds.), *La mediación como estrategia de resolución de conflictos en ámbitos sociales y educativos* (pp. 104-112). Madrid: Dykinson.

López Pérez, D., Dardón Tejada, D., Villaseñor Fajardo, P., Arias Hernández, K., Noriega Martínez, G., Chay Grijalva, J., y Arriola García, J. (2020) El mercurio, un tema para la indagación en la enseñanza secundaria. Educación en Salud Ambiental para el control de la contaminación por mercurio, la exposición y el riesgo a la salud. Costa Rica.

Mellado, V., Borrachero, A. B., Brígido, M., Melo, L. V., Dávila-Acedo, Ma. A., Cañada, F., Conde, M. C., Costillo, E., Cubero, J., Esteban, R., Martínez, G., Ruiz, C., Sánchez, J., Garritz, A., Mellado, L., Vázquez-Bernal, B., Jiménez-Pérez, R., y Bermejo, M. L. (2014). Las emociones en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 11-36.

Ministerio de Educación Pública. (2015). *Educar para una nueva ciudadanía. Fundamentación pedagógica de la transformación curricular*. San José, Costa Rica: Imprenta Nacional. Recuperado de: <https://www.mep.go.cr/sites/default/files/documentos/transf-curricular-v-academico-vf.pdf>

Salazar Vargas, G. (2020) *Control del uso del Mercurio, el caso de la Universidad de Costa Rica*. Educación en Salud Ambiental para el control de la contaminación por mercurio, la exposición y el riesgo a la salud. Costa Rica.

Solano Trejos, M. (2020) *¿Qué hace Costa Rica para controlar el uso del mercurio?* Educación en Salud Ambiental para el control de la contaminación por mercurio, la exposición y el riesgo a la salud. Costa Rica.

Ramírez Agurto, A. (2008) Intoxicación ocupacional por mercurio. *Anales Facultad de Medicina*. (69). 1. 46-51. Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, DOI:10.15381/anales.v69i1.1184

- Retana-Alvarado, D. A., De las Heras-Pérez, M. Á., Vázquez-Bernal, B., y Jiménez-Pérez, R. (2018a). El cambio en las emociones de maestros en formación inicial hacia el clima de aula en una intervención basada en investigación escolar. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(2), 2602-2618.
- Retana-Alvarado, D. A. (2018b). El cambio en las emociones de maestros en formación inicial en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias basada en la indagación. Tesis doctoral. Huelva: Universidad de Huelva.
- Retana Alvarado, D. y Lorca Marín, A. (2020). La indagación sociocientífica sobre la minería: una experiencia afectiva en la formación docente. *Educación en Salud Ambiental para el control de la contaminación por mercurio, la exposición y el riesgo a la salud*. Costa Rica.
- Retana Alvarado, D. A., Vázquez-Bernal, B., de las Heras Pérez, M. Á., y Jiménez Pérez, R. (2021). Las causas del cambio emocional en el clima de aula desde la Hipótesis de la Complejidad. *Revista Interdisciplinaria Sulear*, 9, 170–190.
- United Nations Environment Programme (2013). Mercury: *Time to Act*. UNEP. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/27436>.

The logo for the Universidad de Costa Rica (UCR) is positioned in the bottom right corner. It features the letters "UCR" in a large, white, serif font. Below the letters is a thin white horizontal line. Underneath the line, the words "UNIVERSIDAD DE COSTA RICA" are written in a smaller, white, sans-serif font. The background of the entire page is composed of several overlapping geometric shapes: a large light green triangle in the top left, a dark green triangle in the bottom right, and a central grey-to-white gradient area.

UCR
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA