

The background features abstract geometric shapes. A large green shape, resembling a stylized 'L' or a large arrow, is positioned on the left side, pointing downwards. A maroon shape, resembling a large inverted 'V' or a downward-pointing arrow, is positioned at the top left. A horizontal maroon band spans across the middle of the page, containing the title text. Below this band, another green shape is visible, mirroring the one on the left but pointing upwards.

El Torio y la producción de energía eléctrica: el caso de El Salvador

El Torio y la producción de energía eléctrica: el caso de El Salvador

Crédito

El Torio y la producción de energía eléctrica: el caso de El Salvador

El Torio y la producción de energía eléctrica: el caso de El Salvador, es una publicación que se enmarca dentro del proyecto: “Por la defensa de los territorios ante las amenazas de la minería y del extractivismo en El Salvador”, financiado por MISEREOR en El Salvador. También en el marco del proyecto “Defensa de los derechos humanos ambientales frente al extractivismo en El Salvador”, financiado por American Jewish World Service -AJWS- ejecutado por la Mesa Nacional Frente a la Minería Metálica en El Salvador.

ESTA PUBLICACIÓN NO SERÁ VENDIDA

MESA NACIONAL FRENTE A LA MINERÍA METÁLICA EN EL SALVADOR

- Asociación de Desarrollo Económico y Social Santa Marta – ADES
- Asociación para el Desarrollo de El Salvador – CRIPDES
- Asociación de Comunidades para el Desarrollo de Chalatenango – CCR
- Fundación de Estudios para la Aplicación del Derecho – FESPAD
- Asociación Unidad Ecológica Salvadoreña - UNES

Equipo consultor:

Dina L. López, Ph. D. - Ohio University

Diseño y diagramado:

Asociación Equipo Maíz

Este documento es de exclusiva responsabilidad de la Mesa Nacional Frente a la Minería Metálica en El Salvador, no expresa el pensamiento de las entidades auspiciantes.

esnomineria@gmail.com | Fanpage: mesafrente.mineria
@no_mineria_sv | www.noalamineria.org.sv



@esnomineria

Índice

Introducción.....	5
El Torio y la producción de energía nuclear.....	9
Tipos de reactores que pueden utilizar Torio.....	11
Ventajas y desventajas de los reactores de Torio.....	13
La geología y ocurrencia del Torio.....	15
La geología de El Salvador y el Torio.....	17
Los reactores alimentados con Torio de la Copenhagen Atomic.....	20
Conclusiones y recomendaciones sobre el uso de Torio en El Salvador	26
Conclusiones.....	28
Recomendaciones.....	31
Referencias.....	33

Introducción

El 20 de marzo del 2023, la embajada de El Salvador en Washington D.C. emitió un comunicado de prensa anunciando que el gobierno de El Salvador firmó un acuerdo de entendimiento mutuo (MUO agreement) con la empresa Thorium Energy Alliance para el desarrollo de un Puente de Energía Salvadoreño (El Salvadorian Energy Bridge Plan) con el objetivo de implementar energía nuclear civil. Se puede consultar el acuerdo en la siguiente dirección:

https://thoriumenergyalliance.com/wp-content/uploads/2023/03/El-Salvador_Thorium-Energy-Alliance-Energy-Bridge-Press-Release.pdf#:~:text=With%20the%20aim%20of%20implementing%20new%2C%20more%20efficient%2C,Energy%20Bridge%22%20plan%20for%20renewable%20energy%20through%20thorium

El propósito de este acuerdo es implementar formas de generación de energía nuevas, más eficientes y más amigables con el ambiente usando Torio como fuente de energía renovable. El comunicado establece que este acuerdo beneficiaría a los 6 millones de salvadoreños y salvadoreñas en el país.

El documento fue firmado por Daniel Álvarez, director general de Energía, Hidrocarburos y Minas (DGEHM) de El Salvador y John Kutsch, director ejecutivo de Thorium Energy Alliance, se sostuvo una reunión en la embajada de El Salvador en Washington D.C. en la cual se estableció que el propósito del acuerdo es establecer formalmente el marco de referencia para la cooperación entre Thorium Energy Alliance y DGEHM para desarrollar un plan estratégico y completo para implementar la generación de energía por medio de reactores alimentados con Torio de una manera avanzada y segura. La energía generada sería almacenada en forma de energía térmica.

En comunicación personal vía correo electrónico, entre la autora de este reporte con el señor John Kutsch con fecha 12 de Julio del 2023 en el que el señor Kutsch nos informó que dicho acuerdo es más amplio que lo relativo al Torio y que el propósito es ayudar a diseñar e implementar energía nuclear en el país. También menciona que por ahora el equipo de personas en El Salvador y Thorium Energy Alliance están pensando en utilizar reactores de Torio de la compañía Copenhagen Atomics.

Investigación preliminar en la internet y bibliográfica indican que hasta el momento no existe una planta comercial de energía eléctrica que produzca energía utilizando Torio como material principal, pero que existen numerosos proyectos encaminados a producir centrales nucleares basadas en Torio, incluyendo los reactores de Copenhagen Atomics. En los años 60s del siglo pasado se desarrollaron varias plantas experimentales que no progresaron debido a la abundancia y precio del uranio (IAEA, 2019).

En agosto del 2021, China completó su primer reactor nuclear basado en Torio en medio del desierto de Gobi, y estará siendo sometido a pruebas experimentales en los próximos años. Existen planes de construir una planta para generar electricidad para 100,000 hogares si el experimento es exitoso. Otros países, como India, Japón, Reino Unido, y USA también están interesados en desarrollar esta tecnología (IAEA, visitado 2/15/2024). Como puede verse, esta tecnología todavía está en su etapa de prueba y no se conoce los impactos a largo plazo y posibles problemas con su aplicación.

En el pasado, se ha usado Torio para la generación de electricidad por periodos cortos o limitados, por ejemplo: 300 megavatios eléctricos (MWe) Thorium High Temperature Reactor (THTR) en Hamm-Uentrop en Alemania(1983-1989), la planta de 40 MWe Peach Bottom HTR en USA (1967-74), la planta de 330 MWe Fort St Vrain HTR en Colorado, USA (1976-89), la planta de 330 MWe Fort St Vrain HTR en Colorado, USA (1976-89), una planta que usaba reactores de agua ligera

en Shippingport en USA (1977-1982), India ha utilizado reactores de agua pesada (PHWRs) con Torio como uno de los combustibles.

Por aclaración, se entiende por agua ligera y agua pesada lo siguiente: el agua pesada tiene la misma composición que el agua ligera (agua común con dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno). Pero en el caso del agua pesada en lugar de átomos de hidrógeno de peso atómico 1 (un protón) tiene dos átomos de deuterio (átomo de hidrógeno que tiene peso atómico 2 con un protón y un neutrón en el núcleo).

Como este proyecto puede ser de vital importancia para el desarrollo y la salud ambiental de El Salvador, y dado que hay muy poco conocimiento sobre este tema en el país, se ha organizado la información recopilada y se desarrollan en este documento los siguientes temas:

- El Torio y la producción de energía nuclear
- Tipos de reactores que pueden utilizar Torio
- Ventajas y desventajas de los reactores de Torio
- La geología y ocurrencia del Torio
- La geología de El Salvador y el Torio
- Los reactores alimentados con Torio de la Copenhagen Atomics
- Energía producida con Torio y reflexiones sobre El Salvador

El Torio y la producción de energía nuclear

El Torio fue descubierto en la isla de Lövö, Noruega por Hans M.T. Esmark y posteriormente el químico sueco Jöns Jakob Berzelius lo identificó en 1928 como un elemento nuevo dándole el nombre de Torio en honor al Dios Nórdico Thor que viene de trueno o guerra. El mineral que se identificó fue el silicato de Torio llamado torita (thorite). Fue hasta 1914 que el mineral se aisló por los científicos D. Lely Jr. y L. Hamburger y se le asignó el símbolo Th. Torio es un metal de color blanco plateado, pero en la naturaleza ocurre principalmente como óxido o silicato o como sustituto de elementos menores en algunos compuestos (IAEA, 2019).

En la corteza terrestre, la concentración promedio de Torio es 10 ppm (partes por millón) y casi 3 veces más abundante que el Uranio. El Torio tiene un isótopo principal, el ^{232}Th . Este isótopo eventualmente decae en ^{208}Pb (isótopo del plomo con peso atómico 208). Pero con irradiación de Torio con neutrones se puede producir la siguiente reacción (IAEA, 2022):

La producción de Paladio puede durar unos pocos minutos, pero la reacción de Paladio a ^{233}U (isótopo del uranio con peso atómico 233) tiene una vida media de 27 días (i2massociates, 2021). Estas reacciones implican que, si bien se usa Torio, también hay que tener un material fisible para producir finalmente el ^{233}U , que es el que se utiliza en la producción del calor. O sea que se puede usar el Torio para generar el ^{233}U y después de eso utilizar centrales nucleares convencionales.

Para utilizar Torio como combustible en reactores nucleares, se requiere el uso de algún material fisible (capaz de dividirse) y generar neutrones. Materiales como el ^{233}U , o el ^{235}U (isótopo del uranio con peso atómico 235), o el ^{239}Pu (isótopo del plutonio con peso atómico 239) se pueden utilizar con ese objetivo. El que ofrece mejor rendimiento es el ^{233}U y además tiene efectos neutrónicos menos venenosos (IAEA, 2022).

Una ventaja del uso de Torio en una mezcla de combustible $^{233}\text{U}/^{232}\text{Th}$ con la ausencia de ^{238}U en el combustible hace que se genere una cantidad menor de actínidos en el combustible gastado, o sea se genera un orden de magnitud menos actínidos de vida larga (radiación que duraría mucho más tiempo) que

en los ciclos de combustible que usan U/U-Pu (Uranio/Uranio-Plutonio), o sea las centrales nucleares convencionales. Como se puede observar en la reacción anterior el ^{233}U se puede reciclar. Sin embargo, la producción de ^{233}U va siempre acompañada de la producción de ^{232}U en el reactor y el decaimiento de ^{232}U contiene emisores de radiación gamma (radiación muy nociva) como el ^{212}Bi (isótopo del bismuto con peso atómico 212) y el ^{208}Tl (isótopo del Thallium con peso atómico 208). Por esa razón los combustibles de ^{233}U y Torio requieren que se manejen con gran cuidado usando escudos protectores de la radiación (IAEA, 2022). En estos días, existe un número de diferentes reactores de Torio que se están desarrollando, especialmente en India y China (i2massociates, 2021).

Tipos de reactores que pueden utilizar Torio

En el tiempo presente, el interés en el Torio está reviviendo, con nuevos reactores que se están construyendo en India y China y experimentos para optimizar un reactor basado en sales de Torio fundidas en Holanda. El incentivo para desarrollar reactores de Torio es la necesidad de disminuir las emisiones de CO₂ y tratar de evitar un incremento del calentamiento global. Existe la necesidad de desarrollar la tecnología de reactores de Generación IV.

Estos reactores nucleares Generación IV deberían llenar las necesidades de la sociedad en el futuro siguiendo los conceptos de sostenibilidad. Este concepto de reactores nucleares de Generación IV se originó en el Foro Internacional de Generación IV, que originalmente consistió en 9 países. Más de 100 expertos evaluaron el concepto de cerca de 130 reactores, de los cuales solo 6 fueron considerados como reactores Generación IV, y se espera que entren en operación en los 2030s.

La clasificación básica de reactores nucleares de Torio, tal como en el caso del Uranio, se basa en la energía promedio de los neutrones que son los que causan la fisión en el núcleo del reactor. Se conocen dos categorías: a) Reactores térmicos que usan neutrones térmicos para sostener la reacción en cadena. Estos reactores contienen neutrones moderadores que frenan a los neutrones de la fisión hasta tener una energía más o menos como la energía térmica de los átomos. B) Reactores de neutrones rápidos. Estos no contienen neutrones moderadores y usan menos material de enfriamiento porque usan neutrones rápidos para la fisión¹.

Otra clasificación que se conoce es la definida por la World Nuclear Association (Nuclear Power, visitado 2/10/2024). Ellos establecen que hay siete tipos de reactores que han sido diseñados para usar Torio como combustible nuclear. Los últimos dos están todavía en la categoría experimental.

1. Un elemento es fisible o fisil cuando su núcleo es capaz de experimentar una fisión o división con neutrones

- **Reactores de agua pesada (Heavy Water Reactors, PHWRs):** Son reactores con buena capacidad de usar Torio porque tienen baja absorción de neutrones parásitos, energía promedio del neutrón un poco más alta, y fácil de llenar el combustible en línea.
- **Reactores de alta temperatura enfriados con gas (High-Temperature Gas-Cooled Reactors, HTRs)**
- **Reactores de agua ligera hirviendo (Boiling (Light) Water Reactors (BWRs))**
- **Reactores presurizados de agua ligera (Pressurised (Light) Water Reactors (PWRs))**
- **Reactores de neutrones rápidos (Fast Neutron Reactors, FNRs)**
- **Reactores de sales fundidas (Molten Salt Reactors, MSR).** Estos reactores son importantes porque son los que está desarrollando Copenhagen Atomic y que podrían ser de uso en El Salvador si se lleva a cabo el proyecto.

El fluido combustible puede incorporar fluoruro de Torio y Uranio (^{233}U y/o ^{235}U) como parte de una mezcla de sales que se funde entre 400-700 oC. Este líquido sirve como el fluido para transferir el calor y también como la matriz para el fluido de fisión. El fluido circula a través de un núcleo con procesos químicos que remueven varios productos de fisión y/o el ^{233}U .

- **Reactores manejados por aceleradores (Reactores Accelerator Driven Reactors, ADS).**

Con respecto al posible uso de los reactores de Torio para producir materiales para la manufactura de explosivos, se debe señalar el contenido de ^{233}U en el fluido gastado de Torio, el ^{232}U que decae para producir productos muy reactivos y creación de radiación gamma peligrosa. Esto crea muchos problemas de manejo que no hacen posible el uso ilegal.

Ventajas y desventajas de los reactores de Torio

Ventajas.

El uso del Torio para generar energía eléctrica tiene algunas ventajas y desventajas comparadas con el uso de otras fuentes de energía. Entre las ventajas se puede citar (IAEA, 2022; NS Energy, 2018):

- **Disponibilidad abundante:** se estima que el Torio está disponible en grandes cantidades en la corteza terrestre, lo que lo hace uno de los más importantes combustibles nucleares. Se encuentra en la mayor parte de rocas y suelos y es cerca de tres veces más abundante que el Uranio en la corteza de acuerdo con la Asociación Nuclear Mundial, con cerca de 6.2 millones de toneladas en el mundo. Sin embargo, el Torio no es soluble en agua y el Uranio si lo es. Eso hace que se tenga cerca de 5 billones de toneladas de Uranio en el mar (i2massociates, 2021). Considerando el agua del mar y la corteza, hay más Uranio que Torio, pero actualmente el Uranio no se extrae del agua de mar.
- **Idoneidad:** el Torio se puede usar como combustible nuclear en varios tipos de reactores nucleares que incluyen los reactores de agua pesada, los reactores de alta temperatura enfriados con gases, los reactores hirviendo de agua ligera, los reactores presurizados de agua ligera, los reactores de neutrones rápidos, los reactores de sales fundidas, y reactores manejados por aceleradores.
- **Chequeo de proliferación:** los reactores basados en combustible de Torio son una fuente pobre de material fisible que podría usarse para hacer explosivos ilegales, por lo tanto, no hay posibilidad de que se use con fines bélicos. El combustible de Torio contiene ^{233}U para la generación de neutrones que inician la reacción, pero también contiene impurezas de ^{232}U que llevan a la formación de radiación gamma fuerte. Esta radiación hace que sea más fácil de detectar los combustibles de Torio y mejoran su trazabilidad.

- **Producción menor de basura nuclear:** comparado con el combustible nuclear de Uranio, el Torio es considerado un productor menor de desperdicios nucleares y una probabilidad menor de que se produzcan altas temperaturas. Otra consecuencia, es que se necesitan un espacio mucho menor para almacenar los desperdicios nucleares y también se tienen que almacenar protegidos por tiempo mucho menor que en el caso del Uranio.

Desventajas de los reactores de Torio

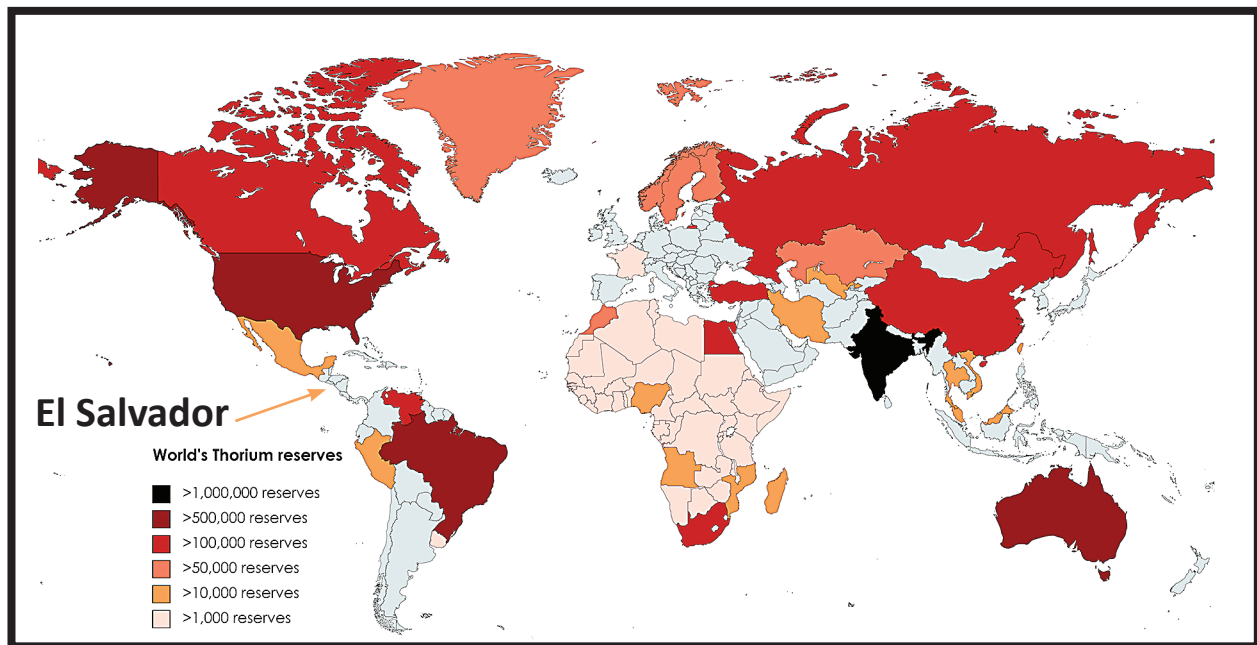
Algunas de las desventajas de usar reactores de Torio son (NS Energy, 2018):

- **Costos muy altos para comenzar el proyecto:** se requieren inversiones muy grandes para construir reactores nucleares de Torio, además de una cantidad grande de pruebas, análisis y trabajo para obtener la licencia de producción. Esto crea incertidumbres sobre el retorno de las inversiones, lo que influye considerablemente en la toma de decisión para seleccionar este tipo de energía.
- **Alto punto de fusión del óxido de Torio:** El punto de fusión del óxido de Torio (3300oC) es mucho más alto que el punto de fusión del óxido de Uranio (entre 2400 y 2900oC). El combustible nuclear es usualmente basado en óxidos del metal.
- **Emisión de rayos gamma:** La presencia de ^{232}U en el combustible de Torio es una de las mayores desventajas de los reactores nucleares de Torio. Los rayos gamma son los más energéticos y dañinos en el espectro de radiaciones.

La geología y ocurrencia del Torio

El Torio está presente en muchos ambientes geológicos, especialmente en complejos alcalinos, pegmatitas, carbonatitas, y arenas de minerales pesados. Su distribución es muy amplia, como se ve en la Figura 17. La ocurrencia de Torio en USA está descrita en Armbrustmacher et al. (1995), en Australia se encuentra en depósitos de arena que contienen el mineral monacita en los minerales pesados de las arenas (Memagh 2008), aun se ha identificado en la luna (Campbell and Ambrose 2010).

Figura 1. Distribución de Torio en el mundo. Notar que las reservas de Torio en El Salvador no han sido evaluadas. Después de Nandamohan.



<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=113704694>

La conducta del ciclo geoquímico del Torio es extrema en los magmas peralcalinos debido a la alta temperatura de su génesis y la abundancia de elementos alcalinos. El exceso de material alcalino aparece en la forma de feldespatoideos, amfibolas y piroxenos de sodio, y otras fases minerales. En silicatos peralcalinos, el Torio y el Uranio, las tierras raras, Zr (Zirconio), Nb (Niobio) se enriquecen simultáneamente, por esa razón la mayoría de los depósitos de Torio están ligados a magmas peralcalinas directa o indirectamente. Las rocas denominadas carbonatitas son generalmente la última fase de los complejos peralcalinos y resultan en venas de mineralización de Torio o rocas metasomáticas (fenitas), también en pegmatitas

ácidas que están insaturadas o saturadas con cuarzo, rocas plutónicas (intrusivas) peralcalinas o rocas volcánicas como riolita. También muestra preferencia por las rocas ácidas como el granito y puede llegar a tener varias decenas de ppm. En general en la corteza tiene una concentración promedio de cerca de 5.6 ppm, con 10.5 ppm en la corteza superior y 1.2 ppm en la corteza inferior (IAEA, 2019). El mineral más común que contiene Torio es monacita, que es un fosfato que puede contener hasta un 12% de Torio.

Se estima que existen unos 16 millones de toneladas en la tierra, de los cuales como 12 millones de toneladas existen en las costas de la India (IAEA, 2019). La separación de Torio de monacita implica el uso común de lechado con hidróxido de sodio para precipitar óxido de Torio, ThO₂.

La IAEA (2019) propone la siguiente clasificación geológica para los depósitos de Torio:

- **Carbonatitas:** ocurren como tapones (plugs) dentro de complejos alcalinos/peralcalinos intrusivos zoneados. Su composición es predominantemente carbonatos (>50%) y enriquecidos en elementos incompatibles (elementos que por su tamaño y carga son difíciles de substituir)
- **Rocas alcalinas/peralcalinas:** rocas que se caracterizan por una sobresaturación de elementos alcalinos e insaturación de aluminio, se expresan como $Al_2O_3 < (Na_2O + K_2O)$.
- **Depósitos de vena:** mineralización discordante en varios tipos de roca, especialmente magmáticas y metamórficas, llenando fallas, uniones o fisuras.
- **Depósitos Placer:** es la acumulación de minerales valorables debido a la acción de la gravedad o erosión que mueve el material de una fuente de roca específica hacia una depresión geográfica en donde se acumula.
- **Depósitos metamórficos:** estos depósitos consisten en concentraciones de Torio en rocas metamorfoseadas (transformación de la roca debido a su sometimiento a temperaturas y presiones muy altas) o metasomatizadas (alteración de una roca debido a fluidos hidrotermales u otros fluidos)

La geología de El Salvador y el Torio

Una pregunta que surge al saber que es posible que se tenga en el futuro una central nuclear de Torio en El Salvador, es si El Salvador importará el combustible nuclear de Torio o si existen fuentes de Torio en El Salvador que puedan ser explotadas. Parece que no existe a la fecha una evaluación de reservas de Torio en Centroamérica y en el Caribe (IAEA, 2019). Sin embargo, conociendo los ambientes geológicos en que se da el Torio, y conociendo en general la geología de El Salvador, puede investigarse si es posible que se tenga Torio en El Salvador.

La geología de El Salvador es predominantemente volcánica, el país se encuentra atravesado por dos cadenas volcánicas, una hacia el norte, corriendo de este a oeste conocida como el volcanismo de detrás del arco (back arc volcanism, con volcanes como Guazapa) que contiene volcanes más antiguos y también mineralización y depósitos de oro, y la otra cadena de volcanes que corresponde al volcanismo más reciente hacia el sur del país y también corriendo paralela de este a oeste a el volcanismo de detrás del arco. Esta contiene los volcanes más activos como los de Santa Ana, San Salvador, San Miguel y también las calderas de Coatepeque e Ilopango.

Solamente al norte del país, en áreas como Metapán, se observan algunas rocas sedimentarias. Las rocas sedimentarias presentes son una sucesión de rocas clásticas a calizas a otra serie de rocas clásticas.

La mayor parte del territorio está cubierto por rocas volcánicas con una gran variedad de composiciones que van del basáltico al riolítico. En particular, es de interés en el caso del Torio la existencia de rocas peralcalinas que parecen no existir en El Salvador, o rocas ácidas como la riolita y el granito. Es importante señalar que debido a la existencia de calderas como Ilopango y Coatepeque que han tenido erupciones caldéricas de composición riolítica o dacítica, esos depósitos si son de interés para la composición de Torio.

En la literatura se encuentran análisis petrográficos de rocas volcánicas de El Salvador que incluyen la composición de Torio. Estos análisis se han hecho generalmente con la intención de resolver problemas volcánicos como la

generación de magma, o problemas tectónicos. La Tabla 1, ilustra algunos de los análisis petrográficos que se han realizado en el pasado y que incluyen la determinación de Torio.

Se ha consultado en la literatura la composición química de las rocas volcánicas en El Salvador, y se han encontrado datos para 56 muestras que contienen concentración de Torio. Estos datos y su referencia se presentan en la Tabla 1. Solamente se extrajo la información sobre el contenido de SiO₂, Na₂O, K₂O y Th (silica, óxido de sodio, óxido de potasio, y torio), además de las coordenadas (cuando están disponibles), localidad y tipo de roca. Los datos reportados en estas muestras indican que en promedio la concentración de Torio es de 1.90 ppm, máximo valor de 4.32 ppm, mínimo valor de 0.67 ppm, y desviación estándar de 0.94 ppm.

La comparación de estos valores con los valores reportados a nivel mundial para Torio (la corteza tiene una concentración promedio de cerca de 5.6 ppm, con 10.5 ppm en la corteza superior y 1.2 ppm en la corteza inferior (IAEA, 2019)) sugieren que las concentraciones de Torio en El Salvador están por debajo de los valores promedio. No se pudo encontrar información sobre cuáles serían las concentraciones mínimas de Torio para que sea económicamente favorable la separación de Torio de las rocas. Se encontró información económica sobre la separación de Torio en monacita (Salehuddin et al., 2019), que resultó ser más económica si se producían 10.0 toneladas en vez de 0.5 o 1.0 toneladas. La inversión total en equipo y costo total de inversión fue \$11,542,984 y \$13,274,431, respectivamente, y el costo de

producción de 1kg de ThO₂ (óxido de torio) cuando se producen 10.0 toneladas fue de \$553 por kilogramo. Considerando los parámetros colectados en la Tabla 11, se puede calcular la correlación estadística entre las variables y hacer la prueba de significancia del coeficiente de correlación. Se encontró que el Torio está correlacionado con la sílice, y los óxidos de potasio y sodio con un valor estadístico de p menor que 0.001 para cada par de parámetros. El valor p es la probabilidad de haber obtenido que la hipótesis nula es cierta, en este caso la hipótesis nula es que los parámetros no están correlacionados. O sea que la sílice, los óxidos de potasio y de sodio, y la concentración de Torio están estadísticamente correlacionados, como se puede ver para la sílice y el óxido de potasio en la Figura 18.

Esta correlación indica que las rocas volcánicas que contienen más sílice y más potasio son las que podrían tener más Torio. Si se grafica en un mapa de El Salvador la localización de las muestras de la Tabla 1 con el tamaño del símbolo proporcional a la concentración de Torio (Figura 19), se puede observar que las muestras han sido tomadas, en los diferentes estudios, a lo largo de la cadena volcánica. Esto tiene sentido porque como ya se explicó, estos datos fueron tomados de estudios de carácter volcánico que se han realizado en el país. En el mapa se puede observar que es alrededor de los centros volcánicos de Santa Ana, San Salvador, Tecapa y en las calderas de Ilopango y Coatepeque en donde existen concentraciones más altas de Torio. Estos datos sugieren que es necesario hacer investigaciones más completas sobre la presencia de Torio en el país y su posible utilización para generar energía eléctrica, si es que se quiere utilizar fuentes propias y no comprar el combustible.

Los reactores alimentados con Torio de la Copenhagen Atomic

La empresa Copenhagen Atomic está desarrollando reactores de sales fundidas para generar energía utilizando Torio como combustible. Las sales fundidas en el núcleo de reactor consisten de litio, berilio, y fluoruros de ^{233}U fisibles (FLiBe con uranio) (World Nuclear Association, visitado en 2/15/2024).

La siguiente descripción es la que presenta la World Nuclear Association, Estos reactores operan a temperaturas de 700°C y el fluido circula a baja presión dentro de una estructura de grafito que sirve como moderador y reflector de neutrones.

Los productos de la fisión se disuelven o suspenden en la sal, pero además cuentan también con una unidad radioquímica conectada en línea que puede remover algunos de los productos de la fisión.

Tabla 1. Concentración de Torio en muestras de rocas de El Salvador

Sample	Localización	Tipo de muestra	Latitu N	Longitud W	SiO ₂ (Wt%)	Na ₂ O (Wt%)	K ₂ O (Wt%)	Th (ppm)	Fuente
UnitB	más viaje TBJ Ilopango Caldera				69.73	4.12	2.14	3.77	Garrison et al.,2012
UnitE	edad intermedia TBJ Ilopango caldera c.				69.83	4.15	2.16	2.07	Garrison et al.,2012
UnitF	roca más joven TBJ Ilopango Caldera				69.71	4.06	2.15	2.89	Garrison et al.,2012
Ilo5	roca Ilopango Caldera				68.26	4.16	1.93	2.78	Garrison et al.,2012
Ilo6	roca Ilopango Caldera				56.21	3.17	1.1	1.2	Garrison et al.,2012
Ilo7	roca Ilopango Caldera	Domo el Pato	13.65	-89.03	72.72	4.38	2.34	2.71	Garrison et al.,2012
SALC605	Cerro Laguneta, 14.073N-89.7014W		14.07	-89.70				1.23	Walker et al. 2012
El Salvador frente volcánico									
ES002	Volcán Siguatepeque (E)	escoria	13.62	-88.56	54.72	3.45	1.76	2.2	Hey dolph et al., 2012
ES003	Volcán Siguatepeque €	flujo lava	13.62	-88.56	54	3.49	1.92	2.55	Hey dolph et al., 2012
ES005	Volcán Santa Ana	tefra	13.85	-88.63	52.89	3.32	1.64	4.19	Hey dolph et al., 2012
ES009	Laguna Caldera	bomba	13.84	-88.36	54.88	3.67	1.68	2.57	Hey dolph et al., 2012
ES019	Cojutepeque, Cerro las Pavas	bomba	13.71	-88.94	49.92	3.31	1.01	1.23	Hey dolph et al., 2012
ES027B	Volcán San Miguel	flujo lava	13.50	-88.22	50.19	2.47	0.53	0.71	Hey dolph et al., 2012
ES028B	Volcán San Miguel (NW)	flujo lava	13.51	-88.25	50.93	2.75	0.73	0.82	Hey dolph et al., 2012
ES0231	Volcán San Miguel	flujo lava	13.42	-88.31	51.21	2.84	0.82	1	Hey dolph et al., 2012
ES035A	Complejo Usulután	bomba	13.55	-88.43	58.37	4.57	1.51	1.97	Hey dolph et al., 2012
ES036C	Izalco (flanco norte)	tefra	13.82	-88.63	54.02	3.72	1.19	2.19	Hey dolph et al., 2012
ES038	Izalco (flanco oeste)	flujo lava	13.82	-88.63	52.96	3.59	1.05	1.97	Hey dolph et al., 2012
ESSSI	Volcán San Salvador	flujo lava	13.80	-88.33	58.75	4.08	2.14	2.92	Hey dolph et al., 2012
ESSSII	Volcan San Salvador	flujo lava	13.80	-88.33	59.26	4.06	2.15	2.92	Hey dolph et al., 2012
El Salvador detrás del frente volcánico									
ES013	Cono de ceniza Cerrito Ojo de Agua	bomba	13.86	-89.23	50.78	2.78	0.72	0.9	Hey dolph et al., 2012
ES014	Cerrito Ojo de Agua	flujo lava	13.86	-89.23	53.85	3.51	1.59	1.23	Hey dolph et al., 2012
ES015	Cerro Quemado	tefra	14.24	-89.47	53.1	3.43	1.25	1.22	Hey dolph et al., 2012
ES016	Cerro Quemado	bomba	14.24	-89.47	52.7	3.71	1.28	1.37	Hey dolph et al., 2012
ES017	Junquillo y Río Ostiga	flujo lava	14.32	89.58	51.44	3.57	1.54	1.48	Hey dolph et al., 2012
ES018B	Volcán San Diego	flujo lava	14.28	-89.48	50.94	3.59	1.16	1.08	Hey dolph et al., 2012
ES024B	El Singuil	tefra	14.05	89.63	49.24	3.01	0.84	1.17	Hey dolph et al., 2012
ES 50	Ahuachapán (Las Chinamas)	andesita	14.02	-89.90	57.42	3.45	1.43	1.18	Tonarini et al. 2006
ES 43	Ahuachapán (Concepción de Ataco)	basalto	13.89	89.86	50.03	2.84	1.2	1.64	Tonarini et al. 2006
ES 42	Ahuachapán (Cerro Apaneca)	basalto	13.84	-89.81	47.72	2.62	0.6	0.98	Tonarini et al. 2006
ES 41	Ahuachapán (Juayua)	basalto	13.86	-89.74	49.62	2.84	1.17	1.6	Tonarini et al. 2006
ES 61	Ahuachapán (Cuyanausul)	dacite lava	13.91	-89.76	65.09	4.71	2.76	4.32	Tonarini et al. 2006
ES 55	Ahuachapán (Chalchuapa)	basalto	14.04	89.70	49.64	3.36	1.2	1.23	Tonarini et al. 2006
ES 57	Ahuachapán (La Magdalena)	basalto	14.06	-89.705837	48.41	3.09	1.08	1.04	Tonarini et al. 2006
ES 7	Cojutepeque	basalto	13.73	-88.93	51.35	2.5	1.42	2.29	Tonarini et al. 2006
ES 2	Volcán de San Salvador	basaltoicar	13.76	-89.27	52.3	3.18	1.18	1.41	Tonarini et al. 2006
ES 45	CA-1 Puente Río Lempa	basalto	13.62	-88.57	47.63	2.63	0.67	0.67	Tonarini et al. 2006
BER 3	Berlín	basalto	13.58	-88.57	51.19	2.78	1.54	3.53	Tonarini et al. 2006
ES 46	CA-1 Puente Río Lempa	andesita	13.66	-88.71	60.82	4.24	1.71	1.95	Tonarini et al. 2006
ES 28	Berlín	basaltic andesita	13.50	-88.52	54.15	2.96	1.56	2.06	Tonarini et al. 2006
ES 8	Berlín	andesita	13.53	-88.50	57.97	4.49	1.56	1.98	Tonarini et al. 2006
ES 10	Berlín	decite	13.53	-88.50	63.69	5.11	2.32	2.91	Tonarini et al. 2006
ES 47	Volcán San Miguel	basalto	13.51	-88.25	49.74	2.46	0.72	0.73	Tonarini et al. 2006
ES 48	Volcán Conchagua	basalto	13.30	-87.82	51.19	2.7	0.78	0.79	Tonarini et al. 2006
ES 45	Puente Río Lempa	diique	13.62	-88.57	47.63	2.63	0.67	0.67	Tonarini et al. 2006
ES 46	Puente Río Lempa	lava	13.66	-88.71	60.82	4.24	1.71	1.95	Tonarini et al. 2006
ES 43	Ahuachapán (Concepción de Ataco)	lava	13.89	-89.86	50.03	2.84	1.2	1.64	Tonarini et al. 2006
ES 7	Cojutepeque	lava	13.73	-88.93	51.35	2.5	1.42	2.29	Tonarini et al. 2006
ES 28	Berlín (TR 18)	lava	13.50	-88.52	54.15	2.96	1.56	2.06	Tonarini et al. 2006
ES 8	Berlín	eescoria	13.53	-88.50	57.97	4.49	1.56	1.98	Tonarini et al. 2006
ES 10	Berlín	fragmento	13.53	-88.50	63.9	5.11	2.32	2.91	Tonarini et al. 2006
ES 42	Ahuachapán (Cerro Apaneca)	lava	13.84	-89.81	47.72	2.62	0.6	0.98	Tonarini et al. 2006
Sal SA22			13.85	-89.63	54.4	3.51	1.53	3.45	Patino et al., 2000
Sal IZ108			13.82	-89.63	52.06	3.54	0.94	1.57	Patino et al., 2000
Sal B-21			13.73	89.28	59	4.42	2.23	3.27	Patino et al., 2000
Sal SM-7			13.43	-88.27	51.1	2.93	0.87	0.71	Patino et al., 2000

En este proceso se forman menos actínidos (sustancias radioactivas) que en combustibles nucleares con masa mayor a 235. En la sal de fluoruro con litio y berilio se forma también una cantidad considerable de tetrafluoruro de Torio y también una forma de ^{233}U como uranio tetrafluoruro (UF_4). Este uranio tetrafluoruro se gasifica y convierte en hexafluoruro de uranio (UF_6) por medio de una corriente de burbujas de gas fluoruro en contacto con la sal, sin afectar el tetrafluoruro de Torio que es menos reactivo. El hexafluoruro de uranio volátil se captura y se reduce con gas hidrógeno a tetrafluoruro de uranio otra vez, para enviarlo de nuevo al núcleo del reactor para servir como combustible de fisión.

La compañía Copenhagen Atomics establece en su sitio web (<https://www.copenhagenatomics.com/technology/>) que podrán producir reactores nucleares que cabrían en un contenedor de 40 pies (o 12 m). Serían reactores pequeños de sales fundidas que permitirán que se produzcan a una fracción del precio de reactores nucleares convencionales. Si se desea más energía se podrán poner varios reactores en el sitio. Los reactores tendrán una salida de 100 MWth (Megawatt Thermal o energía térmica en Megawatts) y una temperatura para el consumidor de 560°C. La sal es F7LiThPu (una sal de fluor que contiene Litio, Torio y Plutonio), en agua pesada sin presurización.

Algunas de las aseveraciones de la compañía en su página web incluyen:

- Bajo costo con alta eficiencia, estiman un valor de \$20/MWh en un escenario de producción en masa.
- El periodo de almacenaje del material residual se ve acortado de 100,000 en plantas convencionales a solo 300 años.
- Estos reactores todavía están en desarrollo y esperan tener el primer reactor operacional de 1 MWth en el 2025.

También presentan una serie de metas (milestones) que se presentan en la Figura 20, en las que se ve que en el año 2023 debían elegir un país para demostración de los reactores nucleares de sales fundidas que usan Torio. Además, se puede observar que aparentemente no se tendrá una producción industrial de estos reactores hasta después del año 2028. Desafortunadamente no se tiene copia del acuerdo entre El Salvador y la Thorium Energy Alliance. Se espera que no sea El Salvador el país de demostración.

Figura 2. Correlación entre Torio y Sílice, y entre Torio y Óxido de Potasio para rocas de El Salvador.

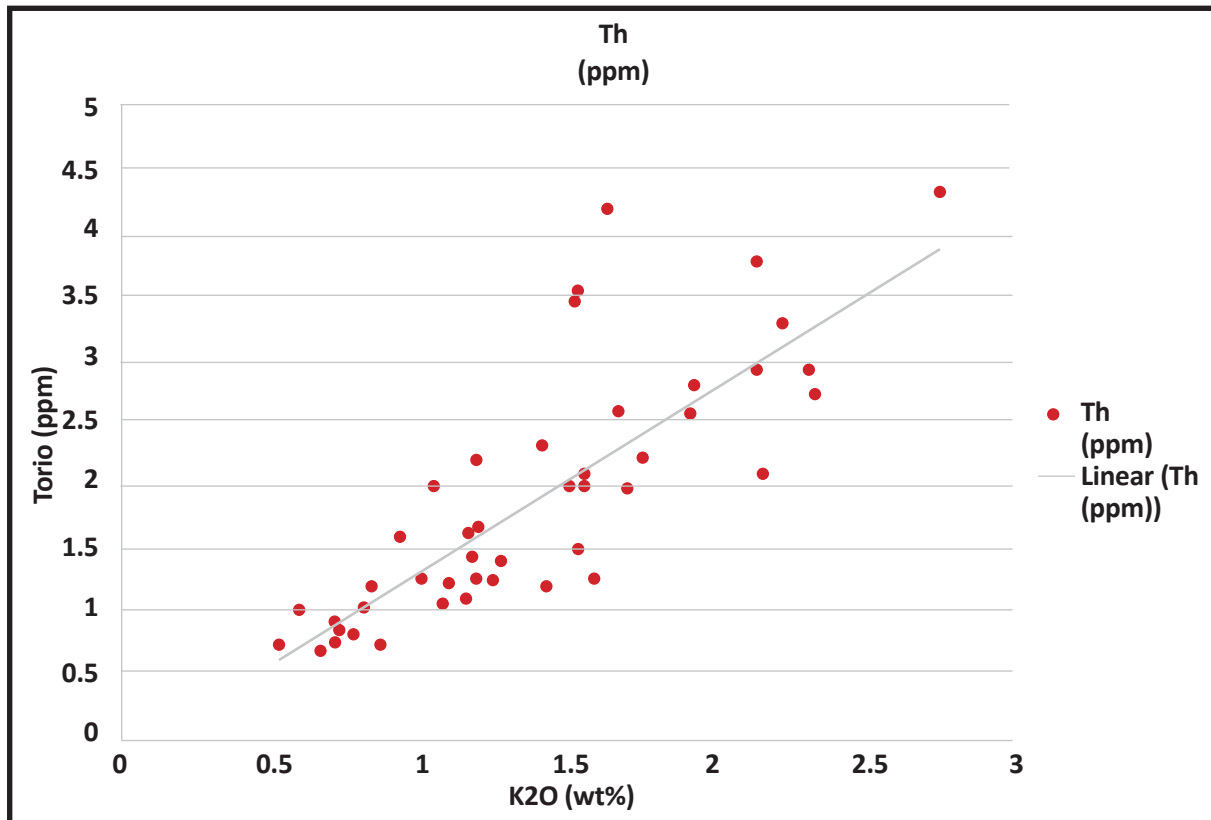
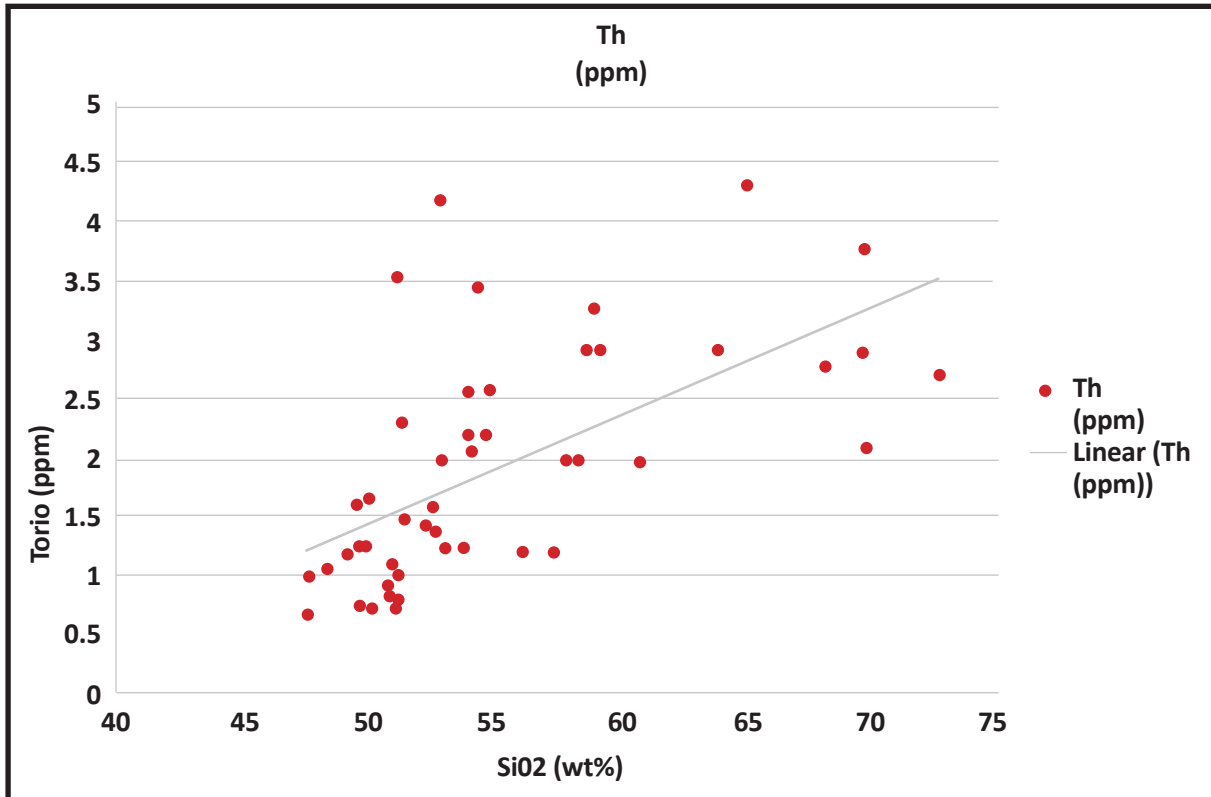
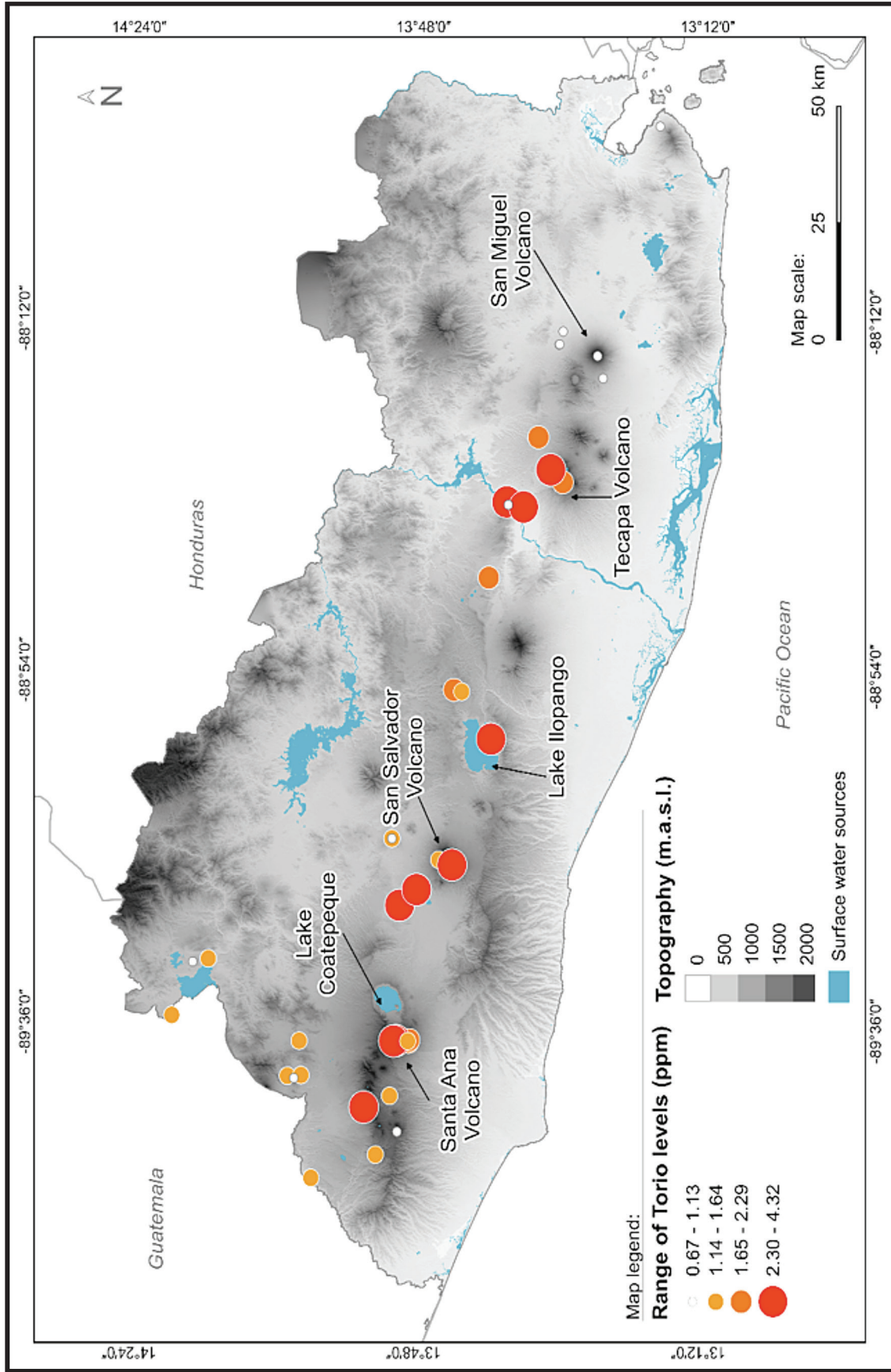
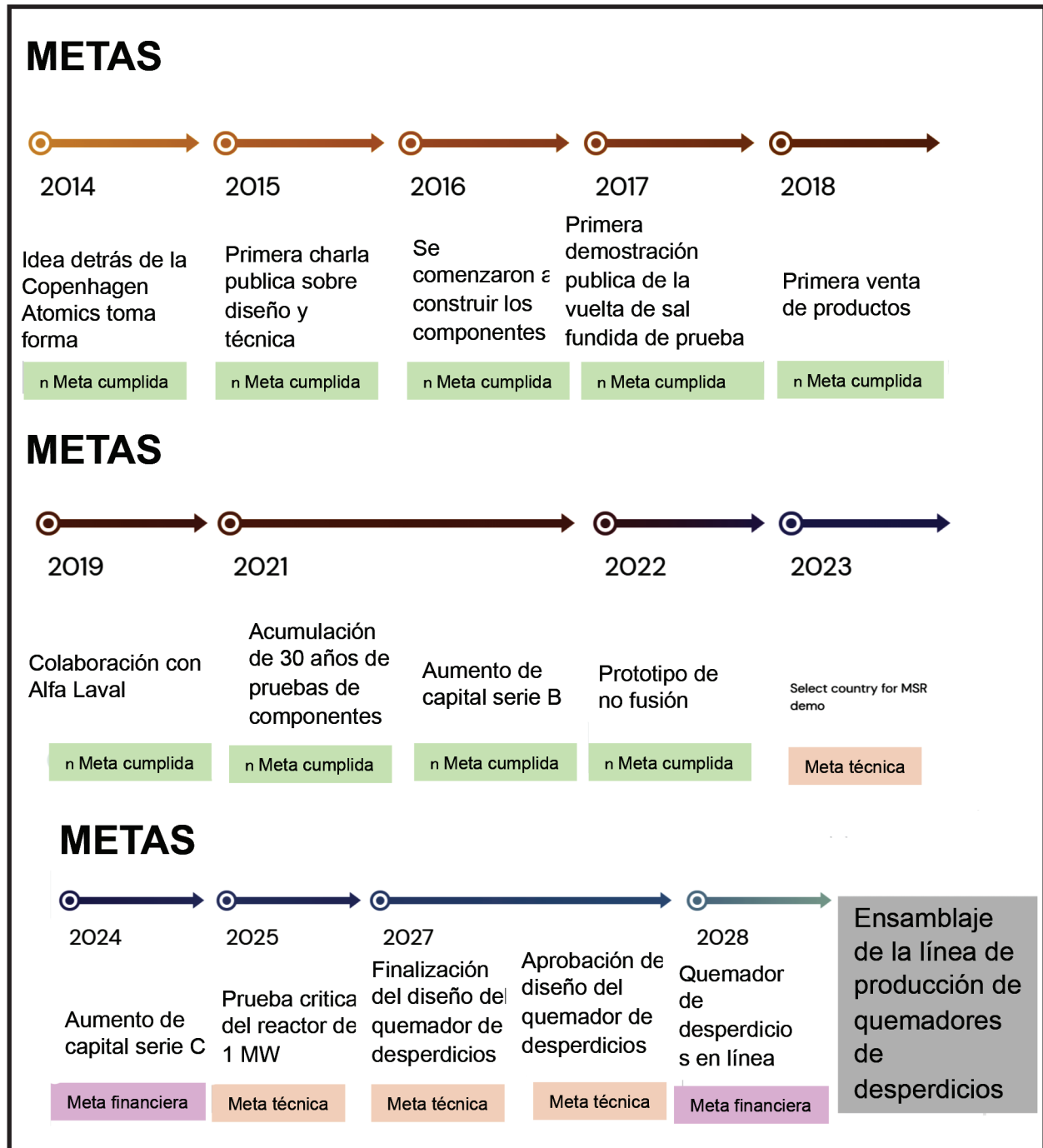


Figura 3. Concentraciones de Torio en rocas de El Salvador.



Mapa elaborado por el M.Sc. Roberto Mejía.

Figura 4. Metas de la compañía Copenhagen Atomics para el desarrollo y producción de los reactores de Torio de sales fundidas.



Tomado de <https://www.copenhagenatomics.com/potential/>. Sitio visitado el 8 de diciembre del 2023.

Conclusiones y recomendaciones sobre el uso de Torio en El Salvador

Lo descrito anteriormente sobre los reactores nucleares que usan Torio y su aplicación en el futuro es interesante porque evidentemente se necesitan fuentes alternativas de energía. No se puede seguir construyendo centrales hidroeléctricas que resultan muy dañinas para los ecosistemas y además tienen un futuro oscuro debido a los procesos de erosión y de sedimentación en las presas, además de todas las incógnitas que se tienen con el cambio climático.

También se tiene el problema del uso de combustibles fósiles que está llevando al planeta a un calentamiento global que podría ser fatal para la humanidad y otros seres vivos. Considerando estos hechos, a primera vista, la alternativa de usar reactores nucleares de Torio parece atractiva.

Sin embargo, como se presenta en este documento, los reactores de Torio que usan sales fundidas están todavía en fase de desarrollo y no conocemos todos los problemas potenciales que podríamos tener al utilizarlos. La decisión de suscribir un acuerdo para la utilización de reactores nucleares de Torio parece demasiado apresurada porque no se conocen los problemas posibles que se puedan tener y sus soluciones.

De acuerdo con las metas de la compañía Copenhagen Atomics ellos deberían seleccionar un país para probar sus reactores nucleares de Torio de sales fundidas

en el año 2023. El mismo año en que El Salvador firmo el acuerdo con Thorium Energy Alliance, sería apropiado que ese acuerdo se hiciera público para poder determinar el compromiso del país y evaluar mejor los aspectos positivos y negativos de ese acuerdo.

Se sabe que existe Torio en las rocas de El Salvador, pero no se sabe si existen rocas que tengan una concentración lo suficientemente alta para que se explote y separe el Torio para fines energéticos. En todo caso, si se persiste en la idea de las centrales nucleares de Torio, es necesario realizar investigación de fondo sobre la ocurrencia del Torio en El Salvador.

Es importante notar que el Torio es un metal y que, bajo la Ley de Prohibición de la Minería Metálica en El Salvador, no se podría explotar el Torio en el país, Si se hicieran las centrales de Torio, se tendría que importar el material.

Otra consideración que debería hacerse es sobre la posibilidad de que exista Torio conjuntamente con oro o plata. Debido a las condiciones geoquímicas en que se generan los minerales de Torio es posible que coexista con minerales de oro o plata, tal como se reporte en varias localizaciones de otros lugares del mundo, como en México (Bartsch-Winkler et al., 1993), en la India (Manikyamba et al., 2021) y en Groenlandia (Steenfelt et al., 2016).

No se conoce cuál es la concentración de Torio en las rocas relacionadas a los depósitos de oro en El Salvador, tendría que investigarse para determinar cuál es el potencial de que se quiera explotar conjuntamente estos minerales en el país.

Conclusiones

El conocimiento teórico sobre el extractivismo es de una gran utilidad por cuanto contribuye a una mejor caracterización de la economía de los países, permite identificar, si efectivamente este es parte fundamental del modelo económico y por consiguiente, objeto de políticas públicas o leyes de la República que les permita realizarse con el apoyo desde la institucionalidad del Estado.

El extractivismo no puede visualizarse como una actividad exclusiva del capitalismo y de los países periféricos, sin embargo, en el proceso histórico recorrido por la humanidad se puede constatar que es en el marco del capitalismo en los países periféricos en donde éste se ha profundizado y ha contribuido a que estos se ubiquen en las relaciones económicas mundiales, ocupando el lugar de proveedores de los bienes naturales a los países del norte para que estos los procesen y los conviertan en bienes transables.

En El Salvador, el extractivismo se puede ubicar desde los primeros años de colonización, hasta hoy se ha identificado con actividades económicas agrícolas, minerías metálicas y no metálicas, que han sido y son parte esencial del modelo económico impulsado en el país en las últimas décadas.

Asimismo, se ha constatado las afectaciones atribuibles a las actividades extractivistas, sobre todo los daños que ocasionan a las condiciones de vida de la población y a la naturaleza por el despojo de tierras, la contaminación del agua, y en general; del medio ambiente.

Se ha evidenciado que las prácticas productivas, por ejemplo, en el cultivo de la caña de azúcar, basadas en el uso extensivo de agroquímicos y el agua, ha generado una situación de degradación de los suelos, la contaminación del mismo y las aguas, superficiales o subterráneas, han provocado una situación preocupante en las condiciones de salud de la población, vinculada a las actividades agrícolas, que reside en zonas agrícolas y que consume agua contaminada o alimentos contaminados.

Con un marcado énfasis a partir de la instauración del actual modelo socioeconómico neoliberal, la minería sigue siendo vista cada vez más como una palanca para el desarrollo económico de las naciones. Lo anterior, sumado

a los altos niveles de endeudamiento externo de los países, como El Salvador, la posibilidad de la reactivación de la minería se acrecienta. En el actual contexto de vulnerabilidad socioambiental de El Salvador, es fundamental que en el país se implementen mecanismos efectivos en la legislación salvadoreña para la protección del medio ambiente y los recursos naturales, especialmente del agua.

Existen evidencias que demuestran que el Gobierno actual ha dado pasos encaminados a establecer condiciones administrativas, institucionales que apuntan a la reversión de la prohibición de la minería metálica en El Salvador.

El Salvador mantiene una potencial amenaza por proyectos mineros ubicados en zonas fronterizas con otros países vecinos, y hasta el momento no se han adoptado medidas para la defensa de la no contaminación de los cuerpos de agua nacionales.

Actualmente, en materia socioeconómica, El Salvador se perfila hacia diversos proyectos de inversión pública-privada, lo cual, desde la óptica del Estado, busca encaminar al país por el sendero del desarrollo; sin embargo, la ejecución de estos proyectos trae aparejada una colisión directa con los derechos humanos de la población más vulnerable, y de manera indirecta, con los derechos humanos de la población en general.

Impulsar la minería de metales en la cuenca del Río Lempa tendría múltiples consecuencias a la sociedad salvadoreña en general, este tipo de industrias produce severos impactos en los mantos acuíferos superficiales y subterráneos, en el aire, el suelo y la biodiversidad. Dicha contaminación afectaría las distintas actividades económico-productivas en el ámbito agropecuario (cría de ganado vacuno, porcino, aves, pesca, la producción de granos básicos, hortalizas y frutales) destruyendo los medios de vida de cientos de miles de familias campesinas.

Asimismo, entre los afectados potenciales estaría la pequeña, mediana y gran industria de alimentos. Además, se afectaría la provisión de agua potable para la población de la ciudad capital que depende en más del 50% del vital líquido proveniente del Río Lempa.

Es bien conocido que el caudal de los riachuelos localizados al norte del país, donde se encuentran los posibles proyectos mineros, es extremadamente bajo. Además, la extracción de agua para los proyectos mineros, tanto para la purificación del mineral como el hecho de que para llegar a las vetas hay necesidad de desaguar la zona, traerá como consecuencia el decrecimiento de la tabla de agua y por lo

tanto el secado de fuentes y menos recarga de agua subterránea a los ríos. Desde el punto de vista hídrico, sería un suicidio ambiental el desarrollar la minería metálica en el país.

Las comunidades afectadas por la actividad extractiva continúan en una situación de indefensión, donde se les continúa negando el acceso a la justicia, además se les criminalizan y se les cierran las posibilidades para el disfrute de sus derechos fundamentales.

De acuerdo a lo descrito en el apartado sobre el Torio, los reactores nucleares que usan Torio y su aplicación en el futuro son interesantes porque evidentemente se necesitan fuentes alternativas de energía. No se puede seguir construyendo centrales hidroeléctricas que resultan muy dañinas para los ecosistemas y además tienen un futuro oscuro debido a los procesos de erosión y de sedimentación en las presas, además de todas las incógnitas que se tienen con el cambio climático. También se tiene el problema del uso de combustibles fósiles que está llevando al planeta a un calentamiento global que podría ser fatal para la humanidad y otros seres vivos. Considerando estos hechos, a primera vista, la alternativa de usar reactores nucleares de Torio parece atractiva.

Sin embargo, como se presenta en este documento, los reactores de Torio que usan sales fundidas están todavía en fase de desarrollo y no se conocen todos los problemas potenciales que podrían tener al utilizarlos. La decisión de suscribir un acuerdo para la utilización de reactores nucleares de Torio parece demasiado apresurada porque no se conocen los problemas posibles que se puedan tener y sus soluciones. De acuerdo con las metas de la compañía Copenhagen Atomics ellos deberían seleccionar un país para probar sus reactores nucleares de Torio de sales fundidas en el año 2023. El mismo año en que El Salvador firmo el acuerdo con Thorium Energy Alliance, sería apropiado que ese acuerdo se hiciera público para poder determinar el compromiso del país y evaluar mejor los aspectos positivos y negativos de ese acuerdo.

Se sabe que existe Torio en las rocas de El Salvador, pero no se sabe si existen rocas que tengan una concentración lo suficientemente alta para que se explote y separe el Torio para fines energéticos. En todo caso, si se persiste en la idea de las centrales nucleares de Torio, es necesario realizar investigación de fondo sobre la ocurrencia del Torio en El Salvador.

Recomendaciones

En cuanto a las actividades extractivista de carácter agrícola y agroindustrial como la caña de azúcar, debería de avanzarse a un momento de mayor regulación y control en aspectos como la designación de las tierras para sus usos respectivos, la asignación del agua y la utilización de los agrotóxicos, en este caso deben de prohibirse aquellos, que de acuerdo a la legislación de otros países, no deberían usarse en los cultivos agrícolas, en ese sentido, tal como ha planteado en otras ocasiones, es de gran importancia retomar la propuesta de “Reformas a la Ley sobre Control de Pesticidas, Fertilizantes y Productos para uso Agropecuario” que fue aprobado por la Asamblea Legislativa en el año 2013 y que posteriormente, fuera observada por el entonces presidente de la república.

Existe la necesidad no solo de hacer estudios más detallados por los Ministerios de Salud y del Ambiente sobre la salud de los trabajadores agrícolas, sino que también, se implementen los controles necesarios sobre la calidad de los químicos que se importan.

Todo lo anterior, significa apostarle a la implementación de componentes de un nuevo modelo de producción en el seno de las comunidades como las prácticas productivas agroecológicas a fin de sustituir las prácticas productivas dañinas para el medio ambiente y la salud, aprovechando el nivel organizativo de las comunidades.

Aún y cuando el país presenta una necesidad financiera por el bajo crecimiento; la reversión de la prohibición de la minería metálica agravaría aún más la situación del país ya que al problema económico se sumaría el impacto comunitario y socioambiental producido por la industria nociva de la minería metálica. Por lo tanto, la eliminación de la prohibición legal de la minería no es recomendable para El Salvador.

El Estado salvadoreño debería encaminar esfuerzos por negociar con Guatemala y Honduras para una regulación regional para que no se afecte las aguas transfronterizas.

La elevación a estatus constitucional del derecho humano al agua y la prohibición de la minería metálica son dos aspectos que el gobierno salvadoreño debería

realizar en el corto plazo, para generar condiciones de garantías legales e institucionales.

Aunque el uso del Torio como fuente de energía parece tener varios puntos favorables, el posible uso de Torio como combustible para reactores nucleares que podrían instalarse en El Salvador requiere considerar el estado de desarrollo de esta tecnología, ya que por el momento todavía se están haciendo pruebas para su implementación. Antes de embarcarse en un proyecto que no se ha probado en otro país, como es el caso de los reactores de sales fundidas de Copenhagen Atomic, se debería esperar a tener los resultados de su implementación en otros países. Esto podría tomar varios años, ya que la compañía espera empezar producción hasta el 2028.

Es necesario que el gobierno de El Salvador haga público el acuerdo firmado con Thorium Energy Alliance para conocer su alcance y determinar si es conveniente para el país o no.

Se entiende que es necesario implementar fuentes alternativas de energía que convengan al país y que tal vez el Torio sea una de ellas. Sin embargo, existen en el país profesionales que pueden evaluar la conveniencia o no de los proyectos, como son las universidades y colegios profesionales. Por esa razón es conveniente que en el futuro se incluya la evaluación de la sociedad y los científicos e ingenieros en esta clase de proyectos.

Referencias

- Agostini, S., Corti, G., Doglioni, C., Carminati, E., Innocenti, F., Tonarini, S., Manetti, P., Di Vincenzo, G., Montanari, D., (2006). Tectonic and magmatic evolution of the active volcanic front in El Salvador: insight into the Berlín and Ahuachapan geothermal areas. *Geothermics* 35, pp. 368–408.
- Andrade, Laura. (2016). Las percepciones hacia la minería metálica en El Salvador. Universidad Centroamericana Dr. José Simeón Cañas.
- Armbrustmacher, T. J., Modreski, P. J., Hoover, D. B., & Klein, D. P. (1995). Thorium-rare earth element vein deposits. U.S. Geological Survey. Retrieved June 26, 2013, from <http://pubs.usgs.gov/of/1995/ofr-95-0831/CHAP7.pdf>.
- Arévalo Beltrán, Marilyn Yamileth y Méndez Alfaro, Dina del Carmen (2011). Tesis: Análisis multitemporal de las zonas cafetaleras de El salvador y su impacto en el desarrollo socioeconómico. Universidad de El Salvador.
- Argueta Moreira, Vivien Desirée (2022). Análisis histórico del extractivismo y su impacto negativo en los derechos humanos de las mujeres. Universidad de El Salvador.
- Baños, Saúl y Mira Edgardo (2016). Conflictividad socio ambiental y gobernanza en El Salvador. Programa Diálogo Democrático para la Seguridad Ambiental-PDDSA.
- Baños, Saúl (2014). Análisis situacional de la gobernanza ambiental. Participación, acceso a la información y justicia. ASPRODE/CORDAID.
- Bartsch-Winkler, S., Sutphin, D.M., Ball, M.M., Korzeb, S.L., 1993. Summary of the mineral- and energy-resource endowment, BLM roswell resource area, east-central New Mexico. *Nonrenewable Resources*, Vol. 2, Iss. 4, pp. 262-283.
- Barzola, Erika Judith (2018). El modelo extractivo de agricultura y sus consecuencias socio-ambientales en Argentina. *Revista de Ciencia y Técnica*, Universidad Empresarial Siglo 21.

- Biosistemas, S.A. de C.V., (2015). Evaluación Final de Riesgos y Propuesta de Medidas de Remediación en 15 Pasivos Ambientales Mineros de El Salvador. Reporte de consultoría presentado al Ministerio de Economía de El Salvador por la firma Biosistemas, S.A. de C.V.
- Campanini, Oscar, Gandarillas, Marco y Gudynas, Eduardo (2019). Derechos y violencias en los extractivismos. LALIBRE Proyecto Editorial.
- Campbell, M. D., & Ambrose, W. A. (2010). Press release: Significant uranium and other discoveries on the moon may indicate new space race is afoot, April 16, (Detailed Release: <http://www.mdcampbell.com/SpaceRace04172010.pdf>. AAPGRelease. Retrieved June 24, 2013, from <http://www.aapg.org/explorer/2010/07jul/moon0710.cfm>.
- Campbell, M.D., (2013). U, Th, and Associated Rees of Industrial Interest. In: Unconventional Energy Resources: 2013 Review American Association of Petroleum Geologists, Energy Minerals Division1, Natural Resources Research, Vol. 23, No. 1, pp. 19-98.
- Cruz Díaz, José Alfredo (1990). Análisis y perspectivas del cultivo del algodón. El Salvador. Revista El Salvador: Coyuntura Económica. Universidad de El Salvador.
- Domínguez Martín, Rafael (2021). El extractivismo y sus despliegues conceptuales. Revista Territorios y Regionalismos. Universidad de Concepción
- Dorador, Cristina (2021). América Latina extractivista: ¿es posible cambiar el modelo?, DW. <https://p.dw.com/p/3vK4S>
- Garay Zarraga, Ane (2014). La minería transnacional en Centroamérica: lógicas regionales e impactos transfronterizos. El caso de la mina Cerro Blanco.
- Garrison, J.M., Reagan, M.K., Sins, K.W.W., (2012). Dacite formation at Ilopango Caldera, El Salvador: U-series disequilibrium and implications for petrogenetic processes and magma storage time. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, Volume 13, Number 6, 20 p.
- Goitia, Alfonso (1988). La crisis algodona en El Salvador: tendencias y perspectivas. Revista Realidad de Ciencias Sociales y Humanidades. Universidad Centroamericana Dr. José Simeón Cañas

- Gudynas, Eduardo (2009). Diez tesis urgentes sobre el nuevo extractivismo. Contextos y demandas bajo el progresismo sudamericano actual. CAAP y CLAES.
- Gudynas, Eduardo (2010). Conflictos ambientales en zonas de frontera y gestión ambiental en América del Sur. Revista Gestión Ambiental. CLAES.
- Gudynas, Eduardo (2014). Sustentación, aceptación y legitimación de los extractivismos: múltiples expresiones pero un mismo basamento”. OPERA, Universidad Externado Colombia.
- Gudynas, Eduardo (2014). Conflictos y extractivismos: conceptos, contenidos y dinámicas. Revista DECURSOS, CESU. Universidad Mayor de San Simón.
- Gudynas, Eduardo (2015). Extractivismos. Ecología, economía y política de un modo de entender el desarrollo y la Naturaleza. CEDIB.
- Gudynas, Eduardo (2016). Modos de producción y modos de apropiación, una distinción a propósito de los extractivismos. ACTUEL MARX / INTERVENCIONES.
- Gudynas, Eduardo (2018). Extractivismos: el concepto, sus expresiones y sus múltiples violencias. Centro Latino Americano de Ecología Social (CLAES)
- Harries, J. R., Hendy, N., and Ritchie, A. I. M., (1988). Rate controls on leaching in pyritic mine wastes. Biohydrometallurgy, Proceedings of the International Symposium, Warwick 1987. Edited by Paul R. Norris and Don P. Kelly, Science and Technology Letters, Surrey, Great Britain.
- Hernández Morales, Iris, “Colonialismo, capitalismo y patriarcado en la historia y los feminismos de Abya Yala”, Revista Estudios Psicosociales Latinoamericanos 3, n. 1 (2020): 29–47, <https://journalusco.edu.co/index.php/repl/article/view/2545>
- Herrera Alfaro, Sara y Rojas Rodríguez, María Eugenia (1997-1998). El añil en Centroamérica siglos XVII – XVIII. Revista Estudios. Universidad Costa Rica.
- Heydolph, K., Hoernlea, K., Hauff, F., Bogaarda, P.V.D., Portnyagin, M., Bindeman, I., Garbe-Schönberg, D., (2012). Along and across arc geochemical variations in NW Central America: Evidence for involvement of lithospheric pyroxenite. Geochimica et Cosmochimica Acta 84, pp. 459–491.

- Hogsden, K.L., Harding, J.S., (2012). Consequences of acid mine drainage for the structure and function of benthic stream communities: a review. *Freshwater Science* 31 (1), p. 108-120.
- IAEA, (2019). World Thorium Occurrences, Deposits and Resources, Documento No. IAEA-TECDOC-1877, 134 p.
- IAEA, (2022). Near Term and Promising Long-Term Options for the Deployment of Thorium Based Nuclear Energy, Final Report of a Coordinated Research Project, Documento No. IAEA-TECDOC-2009
- IAEA, accessed 2/15/2024. Thorium's Long-Term Potential in Nuclear Energy: New IAEA Analysis. <https://www.iaea.org/newscenter/news/thoriums-long-term-potential-in-nuclear-energy-new-iaea-analysis>
- Instituto Salvadoreño del Café. (2023). Informe de Estadísticas Cafetaleras. Departamento de Estudios Económicos y Estadísticas Cafetaleras.
- i2massociates, (2021). Is Thorium the Future of Nuclear Power? – 2021, Nuclear Power Industry / Thorium Power Industry, Date posted: 12/31/21, https://web.i2massociates.com/resource_detail.php?resource_id=11600. Visitado 2/10/2024
- Instituto Salvadoreño del Café (2023). Informe de estadísticas cafetaleras al 30 de septiembre del año 2023.
- Landaverde Vásquez, Rafael, Santos Alas, Loida Eunice y Sibrián Salazar, Delmi Rosario (2006), Tesis: Caracterización y evaluación de la sostenibilidad del cultivo del añil (*indigofera sp.*) de la asociación de añileros de El Salvador. Universidad de El Salvador.
- López, Dina L., Guzmán, Herbert y Mira, Edgardo (2007). Riesgos y posibles impactos de la minería metálica en El Salvador. *Revista Estudios Centroamericanos El Salvador*. Universidad Centroamericana Dr. José Simeón Cañas.
- López, Dina L. (2010). Análisis del Estudio de Impacto Ambiental para el Proyecto Minero Cerro Blanco, Asunción Mita, Jutiapa, Guatemala. CEICOM.

- López, Dina L. (2019). El Cierre y Remediación de Minas Abandonadas en El Salvador. Mesa Nacional Frente a la Minería Metálica en El Salvador (MNFM)
- López Zepeda, Ernesto (1986). Impacto Ecológico del Uso de Pesticidas en el Cultivo de Algodón sobre los Ecosistemas Acuáticos de El Salvador. Revista La Universidad. Universidad de El Salvador.
- MAG. (2022). Anuario de Estadísticas Agropecuarias 2021-2022. Dirección General de Economía Agropecuaria.
- Manikyamba, C., Ghose N.C., Ganguly S., Pahari, A., 2021. Gold, uranium, thorium, and rare earth mineralization in the Kadiri Volcanic Province of Eastern Dharwar Craton, India: An evaluation of mineralogical, textural, and geochemical attributes. Geological Journal, Vol. 56, Iss. 1, pp. 359-381.
- Maristella, Svampa (2012). Pensar el desarrollo desde América Latina". Mardulce.
- Mata, M.B., McKinnie, D., Barraza, E., Sericano, J.:(2002). Hurricane Mitch reconstruction /Gulf of Fonseca contaminant survey and assessment. Seattle: Office of Response and Restoration, NOAA Ocean Service.
- Mckinley, Andrés (2021). ¿estamos frente al silencioso regreso de la minería en El Salvador? El Faro. <https://elfaro.net/es/202112/columnas/25886/estamos-frente-al-silencioso-regreso-de-la-mineria-metalica-en-el-salvador>. Visitado 2/5/2024
- Mckinley, Andrés (2023). El regreso de la minería metálica no ofrece futuro para El Salvador. El Faro, <https://elfaro.net/es/202303/columnas/26787/el-regreso-de-la-mineria-metalica-no-ofrece-futuro-para-el-salvador>. Visitado 2/10/2024
- Memagh, T. P. (2008). A review of the geochemical processes controlling the distribution of Thorium in the Earths crust and Australias Thorium resources. Retrieved June 24, 2013, from http://www.ga.gov.au/web_temp/1408207/Rec2008_005.pdf.
- Mira, Edgardo (2018). Agua transfronteriza y minería en Centroamérica. Heinrich Boll Stiftung / Centro de Investigación sobre Investigación y Comercio. CEICOM.

- Mira, Edgardo (2016). Las amenazas ambientales y la necesaria gestión compartida de las aguas transfronterizas en la región centroamericana. Fundación Friedrich Ebert Stiftung.
- Mira, Edgardo (2020). Agroindustria del azúcar: un análisis de sus efectos económicos, sociales y ambientales en el salvador. CEICOM-Fundación Heinrich Böll.
- Muñoz-Duque, Luz Adriana; Osorno, Margarita María Pérez and VARGAS, Angie Betancur (2020). Despojo, conflictos socioambientales y violación de derechos humanos. Implicaciones de la gran minería en América Latina. *rev.udcaactual. divulg.cient.* [online]. vol.23, n.1, e988. Epub June 30, 2020. ISSN 0123-4226. <https://doi.org/10.31910/rudca.v23.n1.2020.988>.
- Nuclear Power, Types of Thorium Reactors , <https://www.nuclear-power.com/nuclear-power-plant/reactor-types/thorium-reactor/types-of-thorium-reactors> Visitado 2/10/2024
- NSEnergy, Major pros and cons of thorium nuclear power reactor <https://www.nseenergybusiness.com/news/newsmajor-pros-and-cons-of-thorium-nuclear-power-reactor-6058445/> Visitado 2/10/2024
- Orellana, Marcos; Baños, Saúl; Berger, Thierry (2015). Llevar las perspectivas de la comunidad al arbitraje entre inversionistas y Estados: el caso Pac Rim. Instituto Internacional de Medio Ambiente y Desarrollo.
- PDDH. (2016). Informe de la Procuraduría para la Defensa de los Derechos humanos sobre el uso de agrotóxicos en El Salvador y el impacto en los derechos humanos.
- Pelayo, 26 de agosto de 2019, <http://www.uimp.es/actualidad-uimp/rita-segato-el-mundo-de-hoy-es-un-mundo-marcado-por-la-duenidad-oel-senorio.html>
- Pérez-Rincón, Mario Alejandro (2014). Conflictos ambientales en Colombia: inventario, caracterización y análisis. Universidad del Valle.
- Pérez, M., Peña, M. & Alvarez, P. (2011). Agro-industria cañera y uso del agua:

análisis crítico en el contexto de la política de agrocombustibles en Colombia. Ambiente & Sociedade.

- Portillo Riascos, Luis Hernando (2014). Extractivismo clásico y neoextractivismo, ¿dos tipos de extractivismos diferentes? Revista TENDENCIAS, Universidad de Nariño.
- Quiñonez Basagoitia, Julio Cesar (2016). Impactos de la expansión en la Industria Azucarera en la zona Marino Costera de El Salvador: Caso Zona Baja río Paz. UNES-Foro del Agua.
- Salazar Ramírez, Hilda (2017). El extractivismo desde el enfoque de género: una contribución en las estrategias para la defensa del territorio. Sociedad y Ambiente.
- Salehuddin, A.H.J.M., Ismail, A.F., Bahri, C.N.A.C.Z., Aziman, E.S., (2019). Economic analysis of thorium extraction from monazite. Nuclear Engineering and Technology 51, pp. 631-640.
- Segato, Rita (2019). El mundo de hoy es un mundo marcado por la dueñidad o el señorío. Universidad Internacional Menéndez Pelayo
- Steffen Robertson and Kirsten, Inc., Norecol Environmental Consultants, and Gormely Process Engineering, (1989). Acid rock drainage technical guide, Volume I. Report prepared for the British Columbia Acid Mine Drainage Task Force, Vancouver, British Columbia.
- Steenfelt, A., Kolb, J., Thrane, K., 2016. Metallogeny of South Greenland: A review of geological evolution, mineral occurrences and geochemical exploration data. Ore Geology Reviews, Vol. 77, pp. 194-245.
- Svampa, Maristella, (2012). Pensar el desarrollo desde América Latina” <http://maristellasvampa.net/archivos/ensayo56.pdf>. Visitado 1/10/2024
- Tonarini, S., Agostini, S., Doglioni, C., Innocenti, F., Manetti, P., (2006). Evidence for serpentinite fluid in convergent margin systems: The example of El Salvador (Central America) arc lavas. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, Volume 8, Number 9, 18 p.

- Taugroup, (2011). Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) del sector minero metálico de El Salvador. Reporte de consultoría presentado al Ministerio de Economía de El Salvador por la firma TAUGROUP.
- Universidad Internacional Menéndez Pelayo, "Rita Segato: El mundo de hoy es un mundo marcado por la dueñidad o el señorío", Universidad Internacional Menéndez
- Wagner, Lucrecia, "Extractivismo". En Diccionario del Agro Iberoamericano, Editores Salomón, Alejandra, y José Muzlera. (Buenos Aires, 2020), <https://www.teseopress.com/diccionarioagro/chapter/extractivismo/>
- Walker, J.A., Singer, B.S., Jicha, B.R., Cameron, B.I., Carr, M.J., Olney, J.L. (2011). Monogenetic, behind-the-front volcanism in southeastern Guatemala and western El Salvador: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages and tectonic implications. *Lithos* 123, pp. 243–253.



Con apoyo de:

MISEREOR
● IHR HILFSWERK

