

**EFFECTOS DE LA MINERÍA EN COLOMBIA SOBRE LA SALUD HUMANA**

**JESÚS OLIVERO VERBEL**

## TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN
2. METODOLOGÍA
3. ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO
  - 3.1. INTRODUCCIÓN
  - 3.2. LA MINERÍA DEL ORO
    - 3.2.1. El mercurio como tóxico en la minería del oro
    - 3.2.2. La utilización de mercurio, la ignorancia y el círculo de la pobreza
    - 3.2.3. El cianuro y otros contaminantes en la minería del oro.
    - 3.2.4. Impactos de la gran minería del oro sobre la salud humana
  - 3.3. LA MINERÍA DEL CARBÓN
  - 3.4. LA MINERÍA DEL NÍQUEL
  - 3.5. LA MINERÍA DE METALES ESTRATÉGICOS
4. INICIATIVAS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD AMBIENTAL EN COLOMBIA
5. SITUACIÓN ACTUAL EN COLOMBIA Y PROPUESTAS DE SOLUCIÓN
6. CONCLUSIONES
7. RECOMENDACIONES
8. REFERENCIAS

## **1. RESUMEN**

En Colombia la minería es un sector estratégico para su desarrollo. En una carrera sin control ni reglas claras, esta actividad hace trámite en el territorio, arrastrando una estela de problemas sobre la sociedad, el ambiente, el bienestar y la salud de las personas. Aunque la prensa ha evidenciado problemas de salud sobre la minería en Colombia, poco está disponible en la literatura científica. La razón no es que los impactos y situaciones no existan, sino, que se ha realizado poca investigación. Lo anterior tiene varias aristas: la comunidad no conoce lo que ocurre, y por tanto participa poco; los gobernantes no poseen datos para tomar acciones que minimicen los impactos, y aunque la academia/gobierno investigue y muestre los problemas y sus posibles orígenes o soluciones, el interés en resolverlos no se concreta, y dichos estudios no son empleados como línea base para avanzar ni como soporte para políticas públicas.

En los procesos de extracción de distintos minerales, los impactos sobre la salud humana, por lo general son diferentes, aunque se encuentren similitudes en varios aspectos. Basta visitar las zonas mineras para experimentar la miseria, las pésimas condiciones en las que viven las personas y el abandono generalizado. En virtud a su amplia distribución, la minería del oro constituye el renglón para el cual se ha producido el mayor número de estudios, casi todos asociados con el mercurio, un elemento altamente tóxico empleado para extracción del metal precioso. El uso del mercurio obedece a que es la tecnología más asequible, menos costosa, y con la cual los mineros artesanales han trabajado por décadas, sin capacitación mínima, pudiendo desarrollarse por individuos sin o con poca escolaridad. Aunque su eficiencia de extracción es baja, lo obtenido garantiza la supervivencia de los mineros y sus familias. En ese sentido, su uso es un asunto de pobreza extrema. El mercurio es un neurotóxico altamente dañino para el desarrollo cerebral de los niños, y en ciertas áreas auríferas, como el Sur de Bolívar y el Noreste Antioqueño, está presente en el aire y el suelo, siendo respirado por sus habitantes, la mayoría menores de edad. Al encontrarse las minas cerca a los cuerpos de agua, el metal llega a los sedimentos desde las corrientes o la atmósfera, allí es transformado en metilmercurio, su forma más tóxica, e incorporado a los peces, el alimento de los pobladores, acumulándose en estos últimos. Es un círculo de pobreza, ignorancia y daño sobre la salud, que sólo puede romperse cuando el pequeño minero reciba atención, transferencia de tecnología y capacitación desde el gobierno. En este escenario, el nivel sociocultural es tan precario que no ofrece ninguna protección a enfermedades de connotación social como el VIH-SIDA, convirtiéndose en un problema silencioso que crece como una bola de nieve, sin controles ni dolientes. Lamentablemente, la Ley de Mercurio, no considera estos aspectos. En el caso de la minería del carbón, la producción de partículas es el problema principal. Por su pequeño tamaño, éstas pueden transportarse grandes distancias y entrar al organismo por inhalación, siendo esta una característica común tanto para la minería en general. Estas penetran los pulmones y dependiendo del diámetro, alcanzan sus estructuras más diminutas. Allí, en contacto con las células, y al actuar como cuerpos extraños, inician procesos inflamatorios que cambian la arquitectura tisular, induciendo enfermedades luego de la exposición crónica, la mayoría

asociadas con una disminución dramática de la función pulmonar, problema detectado en mineros de Boyacá. Estas partículas liberan diversos contaminantes, los cuales pueden a su vez inducir daño a nivel del material genético, hecho reportado en trabajadores de Cerrejón y en organismos que habitan en zonas aledañas a las minas de carbón, incluyendo roedores y reptiles.

En el horizonte también aparecen otros minerales igualmente problemáticos. El níquel, por ejemplo, es un reconocido agente cancerígeno, y el conocimiento del impacto sobre los ecosistemas cercanos a la única mina en Colombia, Cerromatoso, es ínfima. Por su parte, el coltán, un mineral estratégico para el futuro, suele encontrarse asociado con material radiactivo en las rocas, lo cual potencialmente podría generar problemas graves de salud en los que lo manipulan, por ahora, un buen porcentaje de estos mineros es indígena. En resumen, existe un amplio cúmulo de conocimiento en relación con los impactos de la minería sobre la salud humana a nivel mundial, pero poco en Colombia. Se necesita llevar el Estado a las zonas mineras, realizar transferencia de conocimientos, especialmente en educación ambiental y tecnología al pequeño minero, así como ayudar en su organización para garantizar mayores ingresos y mejor calidad de vida con mínima afectación de los ecosistemas. El gobierno y las universidades deben implementar programas de investigación para cualificar y cuantificar los impactos de la minería en todas sus escalas sobre la salud y el ambiente, socializar la situación existente, comprometer a la comunidad y aprender de experiencias exitosas internacionales, actuando en consecuencia, y anteponiendo el bienestar general sobre el particular, nacional o extranjero.

## **2. METODOLOGÍA**

Este documento presenta una revisión general sobre diversos aspectos relacionados con la afectación que sobre la salud genera la minería en Colombia. En primer lugar fue realizada una búsqueda en la base de datos PubMed ([www.pubmed.gov](http://www.pubmed.gov)), la cual es la más importante a nivel global en términos de artículos científicos relacionados con salud, así como en la base de datos Scopus, la cual es de temas generales en ciencia. Para tal efecto fueron empleadas las palabras clave “mining”, “Colombia”, “coal”, “mercury”, “coltán”, “tantalite” y “nickel”, entre otras, como descriptores de búsqueda en dicho portales, intentando desarrollar una revisión de artículos sobre trabajos realizados tanto a nivel internacional como en Colombia en relación con minería y salud. Una revisión preliminar da cuenta de muy pocas investigaciones, siendo las más numerosas las relacionadas con aspectos cuantitativos de la presencia de mercurio en muestras humanas y ambientales en regiones con reconocida vocación minera.

Los resultados obtenidos, así como una discusión de los mismos son presentados a continuación:

### **3. ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO**

#### **3.1. INTRODUCCIÓN**

Por definición, la minería es un proceso de remoción de materiales de la corteza terrestre. Estos depósitos han estado allí por millones de años, comportándose como un depósito natural dentro de los ciclos biogeoquímicos de cada elemento en particular. Al ser removido el material ocurre una alteración de estos ciclos y su disposición o transporte puede generar procesos de contaminación *in situ*, o en lugares alejados en donde serán procesados o utilizados los minerales.

Aunque existen en el país diversos focos mineros para varios tipos de metales o minerales, este documento hará énfasis en la minería del oro y del carbón. En Colombia la minería del oro se realiza de tres grandes tipos: La gran minería, la mediana y la artesanal o pequeña minería. La gran minería del oro está asociada generalmente con empresas multinacionales, y tanto la mediana como la pequeña con compañías o agremiaciones nacionales o locales. La minería del oro a gran escala usualmente involucra la utilización de cianuro para los procesos de extracción del metal. Este anión es controlado en piscinas, y luego de varios ciclos de utilización es tratado para disminuir su toxicidad.

Para el caso del carbón, la minería igualmente puede ser artesanal o a gran escala. En ambos casos, los problemas de salud en mineros derivan de la exposición a material particulado, cuyo principal efecto recae sobre el funcionamiento de los pulmones. Para todos los escenarios de minería, sin excepción, los accidentes laborales incapacitantes, también ocupan un lugar privilegiado entre la morbilidad asociada con esta actividad.

En este documento aparece una descripción general de los efectos sobre la salud humana asociados con la minería del oro y del carbón, como los minerales de mayor importancia económica en el país, así como una breve reseña sobre la minería del níquel y la de minerales estratégicos.

#### **3.2. LA MINERÍA DEL ORO**

##### **3.2.1. El mercurio como tóxico en la minería del oro**

La pequeña y mediana minería en Colombia utiliza la amalgamación del oro como proceso para su extracción de las rocas que lo contienen. Este proceso es realizado utilizando mercurio elemental, el cual forma aleaciones con varios metales, entre ellos el oro, y de esta forma logra extraerlo del material rocoso. Una vez formada la amalgama oro-mercurio, esta es calentada y el mercurio elemental evaporado, quedando una mezcla de oro y otros metales en menor proporción. El mercurio evaporado es inhalado directamente por los mineros en varias etapas de la extracción aurífera, especialmente durante la quema de la amalgama, por lo que en la cadena productiva, los más afectados son los quemadores de

amalgamas (Bose-O'Reilly et al., 2010). Parte de este mercurio llega a la atmósfera, es depositado en los cuerpos de agua cercanos y transformado por las bacterias a metilmercurio, ión que se biomagnifica a través de la cadena trófica, alcanzando los peces, y eventualmente a sus consumidores, entre ellos el hombre. El metilmercurio es mucho más tóxico que el mercurio elemental, aunque ambos impactan severamente la salud de los mineros, tanto por consumo de pescado como por exposición directa, respectivamente.

Sin duda, el mercurio elemental constituye el principal tóxico al que están expuestos los pequeños y medianos mineros auríferos en Colombia. La forma en que este tóxico entra a los humanos y desarrolla los efectos en los mismos están bien documentados (Park y Zheng, 2012), y en su mayoría existe consenso en los aspectos seguidamente descritos. Durante la exposición al mercurio elemental, aproximadamente el 80% se absorbe a través de los pulmones y desde allí es distribuido a todos los órganos del cuerpo. Al respirarse, el mercurio elemental puede llegar directamente al cerebro a través de las células nerviosas del sistema olfatorio. Los órganos principales en donde el mercurio es acumulado son el cerebro y el riñón. El período de vida media del mercurio en el organismo, es decir, el tiempo necesario para que la cantidad en el mismo disminuya a la mitad es de 30 a 60 días. Sin embargo, para la fracción que se encuentra en el cerebro, este lapso de tiempo puede ser tan grande como 20 años.

En relación con la toxicidad del mercurio, muchos de los efectos observados son compartidos entre sus diferentes especies o formas químicas. Sin embargo, el daño neurológico, constituye, quizás, el más importante, en especial en los niños, cuyo sistema nervioso aún está en desarrollo. En este sentido, son típicos los cambios de comportamiento, temblores en las manos, pérdida de funciones sensoriales, en particular la audición y la visión, disminución o alteración en la coordinación de movimientos, problemas neuro-psiquiátricos, hiperactividad, e irritabilidad, entre muchos otros (Fernandes Azevedo et al., 2012). Debe anotarse en este punto, que muchos de los efectos resultados de la exposición a mercurio suelen confundirse con manifestaciones de otras enfermedades. Por ello, la evaluación de los mismos debe ser realizada por personal idóneo y equipo especializado, que puedan en conjunto determinar el daño existente.

Los efectos del mercurio no se limitan a alteraciones sobre el sistema nervioso. Son igualmente destacables problemas asociados con el sistema cardiovascular (Fernandes Azevedo et al., 2012), aunque recientemente se ha prestado mucha atención al papel del mercurio como agente inmunotóxico, particularmente en mineros artesanales (Lubick et al., 2010). En algunas poblaciones amazónicas expuestas a mercurio a través de la pequeña minería, existe un incremento en la prevalencia de anticuerpos antinucleares y antinucleolares, además de una interacción positiva entre el metal y la malaria, lo cual evidencia la importancia del mercurio como agente inmunotóxico y de propensión al desarrollo de malaria (Silbergeld et al., 2005). El papel autoinmune del mercurio lo ha convertido en un agente etiológico de interés en lupus eritematoso, en especial entre

personas que han reportado exposición ocupacional a mercurio y entre trabajadores dentales (Cooper et al., 2004). De hecho, personas a las cuales se les ha removido las amalgamas de mercurio han mejorado su estatus autoinmune (Prochazkova et al., 2004), y casos clínicos diagnosticados como lupus eritematoso sistémico o artritis reumatoide, en realidad han correspondido a intoxicación por mercurio (Salerno, 2012). Estos efectos inmuno-moduladores del mercurio no son exclusivos para lupus. Estudios han señalado la asociación entre mercurio total en sangre y las concentraciones de anticuerpos del virus de la rubeola (Gallagher et al., 2013).

Aunque en Colombia existe información sobre la contaminación por mercurio, es cierto que los estudios epidemiológicos son muy escasos. La información más relevante incluye mediciones de mercurio en aire y en humanos en la cuenca del Cauca y del Magdalena (Olivero-Verbel et al., 2011; Olivero-Verbel, 2010; Olivero-Verbel et al., 2002; Olivero-Verbel et al., 1995), pero poco en relación con los efectos. Algunos de los casos más dramáticos de exposición a mercurio en Colombia han sido reportados para Segovia, Antioquia. Por ejemplo, para la zona urbana de este municipio se ha comprobado que la media de mercurio elemental puede alcanzar los  $1.26 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de aire (Cordy et al., 2013), valor muy por encima de lo recomendado internacionalmente. Un estudio reciente realizado en el país subrayó la detección de hidrocefalia derivada de la exposición crónica a mercurio elemental (Silva Sieger et al., 2012). El paciente, una persona de 50 años de edad que trabaja en metalurgia, presentó, durante los últimos tres meses previos al diagnóstico, episodios de dolor de cabeza frontal severo, pérdida de la visión, astenia (falta de fuerza muscular para ejercitar cualquier acción), anorexia, dolor muscular, fatiga y síntomas neuro-psiquiátricos. Así mismo, en evaluaciones recientes, aún sin publicar, investigadores de la Universidad de Cartagena han encontrado daño neurológico en algunos mineros del Sur de Bolívar, específicamente a través de ensayos neurológicos de coordinación muscular. Más aún, un trabajo realizado en mineros de la localidad de El Bagre, Antioquia, con edades entre 20 y 45 años, mostró diversos tipos de alteraciones en este grupo, incluyendo daño intelectual, así como cambios emocionales y neurológicos (Tirado et al., 2000).

Debe quedar claro, que todas las afectaciones encontradas en mineros auríferos no derivan exclusivamente de la exposición a mercurio. El trabajo directo con los minerales, puede exponer a los mineros o sus familias a otros contaminantes, en especial metales pesados. La presencia de estos contaminantes está supeditada a las características geológicas de la zona, y comúnmente, los mineros no poseen información completa sobre el contenido de minerales que acompañan al oro en las rocas extraídas. Este desconocimiento constituye un gran factor de riesgo para la salud de los niños, en especial si los mismos participan en alguna etapa del proceso de procesamiento de las rocas, por ejemplo, durante la trituración, dado que pueden ponerse en contacto con metales tóxicos, que pueden intoxicarlos, y eventualmente causarles daños irreversibles, y hasta la muerte (Plumlee et al. 2013).

Otro aspecto a considerar en el marco de la minería del oro es el tipo de yacimiento en que se encuentra, el cual puede ser de varios tipos, siendo el de filón y el de aluvión los más importantes. En el primer caso, el oro es obtenido en filones o socavones de forma nativa o combinado principalmente con azufre, hierro y arsénico. Por su parte, en el yacimiento de aluvión, el oro aparece asociado con aluminio o silicatos, con frecuencia sobre los lechos de los ríos. Para ambos escenarios, la minería artesanal igualmente emplea mercurio, y la contaminación de las aguas es inevitable.

Algunas de las connotaciones que sobre la salud humana derivan de los procesos de minería artesanal del oro aparecen documentadas en la literatura científica. Ejemplos de varias de ellas son presentados en la Tabla 1.



Tabla 1. Efectos sobre la salud humana que han sido atribuidos a la minería artesanal del oro.

<b>País</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Efecto</b>	<b>Comentario</b>	<b>Referencias</b>
Filipinas	Mindanao	Tremor, pérdida de la memoria, dificultad para dormir, gusto metálico.	Exposición a una combinación vapor de Hg, mercurio inorgánico y metilmercurio, característica de áreas de minería aurífera en el tercer mundo. Las personas fueron tratadas con DMPS, un agente quelante, con buenos resultados.	Böse-O'Reilly et al. (2003).
Indonesia	Galangan, Kalimantan y Talawaan, Sulawesi.	Desórdenes del movimiento: Ataxia, tremor, disdiadocoquinesia.	Intoxicación crónica por mercurio fue observada en las personas encargadas de quemar las amalgamas y en niños expuestos que viven en los asentamientos mineros.	Bose-O'Reilly et al. (2010); Bose-O'Reilly et al. (2008).
Indonesia y Zimbabwe	Áreas de minería artesanal de oro.	Ataxia.	Muchos niños inician el contacto directo con mercurio a los siete años de edad.	Bose-O'Reilly et al. (2008).
Nicaragua	Bonanza	Afectación de la audición.	Hg, Pb, Al, Mn, As en uñas por encima de los niveles de referencia.	Saunders et al. (2013).
Nigeria	Estado de Zamfara.	Muerte de aproximadamente 400 niños, afectando a otros miles.	El procesamiento del mineral aurífero produjo la contaminación del suelo con plomo, a niveles hasta de 185.000 ppm.	Plumlee et al. (2013).

### **3.2.2. La utilización de mercurio, la ignorancia y el círculo de la pobreza**

La pequeña minería del oro en el país es un sector abandonado por el estado, excepcionalmente importante sólo a la hora del aporte de regalías, que a ciencia cierta, como en otros aspectos mineros, nadie da cuenta de su magnitud. En el Sur de Bolívar, Norte de Antioquia, Chocó, y la Amazonía, entre otras regiones, este tipo de minería está íntimamente asociada con pobreza. El pequeño minero trabaja para cubrir las necesidades básicas de su familia, con un retorno mínimo hacia el mejoramiento de la calidad de vida. En concreto, constituye una herramienta de supervivencia. El minero artesanal del oro adquiere el mercurio a través de intermediarios, y parte de sus ingresos es utilizado en la adquisición de medicamentos para contrarrestar los efectos del metal, o para escapar momentáneamente al estrés mental y social derivado del oficio mismo. Esto último, traducido en alcoholismo, juegos de azar, y prostitución.

El forzamiento al uso del mercurio es una consecuencia de la falta de alternativas a la amalgamación como mecanismo de extracción, que aunque existen, no son promovidas por el estado. También es palpable entre un porcentaje importante del minero artesanal, la carencia de una visión de mejoramiento de la calidad de vida a través del trabajo, como motor de desarrollo familiar. Si de forma concomitante le sumamos a este panorama la incorporación de los niños a la fuerza laboral a temprana edad, el círculo de la pobreza se cierra. Las alternativas por tanto, radican en el cambio de tecnologías, apoyo decidido del estado y educación masiva y de buena calidad (Hilson and Pardie, 2006).

Sin duda, uno de los problemas más frecuentes entre la comunidad minera aurífera es la falta de conocimiento y concientización alrededor de la exposición a metales, en particular mercurio, entre la población. Este proceso, ligado a la ausencia de monitoreos permanentes, la inexistencia de prácticas para el manejo de los desechos, y a la ausencia de políticas nacionales bien definidas para el control de estas sustancias, no es único para Colombia, y ha sido bien identificado en varios países tercermundistas (Charles et al., 2013). Los mineros por lo general no poseen educación básica y prestan poca atención a los problemas de exposición a mercurio. En algunos casos, los problemas de alteraciones neurológicas no son focalizados en los mineros expuestos, y por tanto pasan desapercibidos por los médicos, aunque algunas veces el problema deriva de la imposibilidad de comunicar adecuadamente los síntomas. Si a lo anterior agregamos el mínimo acceso de los mineros a los sistemas de salud, la problemática parecería sin control (Zolnikov, 2012).

### **3.2.3. El cianuro y otros contaminantes en la minería del oro.**

La mayoría de los pequeñas asentamientos de minería aurífera artesanal, además de la amalgamación con mercurio, emplea la lixiviación con cianuro para la extracción del oro. Por lo general, el oro que no es obtenido por la amalgamación por mercurio, es recuperado por métodos electroquímicos en piscinas de cianuración, en donde el oro es disuelto formando un complejo con el cianuro, y luego precipitado sobre zinc granulado, desde donde es separado por métodos metalúrgicos. En la pequeña minería, la amalgamación con

mercurio es la forma preferida de extracción del metal, en especial por la rapidez y simplicidad del proceso. En aquellas arenas que ya han sido tratadas con mercurio, la utilización de cianuro permite remover una fracción adicional del oro, pero el proceso suele ser mucho más largo, y requiere cierta infraestructura, por ello, en muchos casos este paso adicional no se realiza y el oro se pierde. En la gran minería, por lo general la extracción de oro es realizada empleando piscinas gigantescas de cianuración e infraestructura especial para los procesos electroquímicos y de metalurgia. En este caso, el riesgo principal se asocia con la pérdida de permeabilidad de las piscinas, lo cual puede conducir a liberación de cianuro, con la consecuente afectación, y muerte probable de la biota presente en las fuentes de agua receptoras.

A pesar de la alta toxicidad del cianuro, raras veces aparecen datos de intoxicación derivada de su uso en minería. Sin embargo, los impactos ambientales producto de las liberaciones involuntarias de las soluciones de cianuro, o de derrames a fuentes de agua durante su transporte, si constituyen una amenaza para la salud pública, en función de la utilización de dichas aguas para consumo humano. En el país no existen reportes de tales problemas, aunque no puede descartarse la ausencia de registro de los mismos.

Independiente de la escala, el empleo de cianuro en minería aurífera efectivamente constituye un riesgo latente. Existen ejemplos catastróficos, siendo uno de los más documentados el ocurrido en la planta de procesamiento de oro de Aurul, en Rumania, el cual, luego del rompimiento de una barrera de contención de solución de cianuro, se liberó la misma, incorporando cianuro y metales pesados, contaminando múltiples fuentes de agua en Rumania, Hungría, Yugoslavia y Bulgaria, con la consecuente muerte de peces y cierre de acueductos (Cunningham, 2005). Aún hoy, las responsabilidades del hecho no cesan. La lección, es que en un planeta que experimenta fuertes variaciones en la pluviosidad derivadas del cambio climático, garantizar que no existirán fugas o derrames durante eventos climáticos específicos o accidentes humanos, es virtualmente imposible.

Una advertencia muy importante en cuanto a la minería artesanal del oro deriva de la forma en que es practicada, la cual puede tener implicaciones en la salud de las personas. En primer lugar, en muchos casos el procesamiento de la roca ocurre en el interior de las viviendas y en ella participa toda la familia, incluyendo los niños. No existe un solo dato relacionado con la calidad toxicológica del suelo en el interior de estas viviendas en Colombia, y los riesgos son inminentes. Por ejemplo, en una zona de minería aurífera de Nigeria, de una población de 463 niños menores de 5 años, 118 (25%) murieron en 2009 a causa de intoxicación por plomo. Del 59% de los 345 niños muestreados, el 97% tenía concentraciones de plomo en sangre superiores a 45 µg/dL (legalmente debe tener menos de 10 µg/dL, idealmente no debe tener plomo en sangre) y entre los que murieron, el 87% presentó convulsiones. La fuente del plomo fue precisamente el mineral que contenía el oro (Dooyema et al., 2012).

#### **3.2.4. Impactos de la gran minería del oro sobre la salud humana**

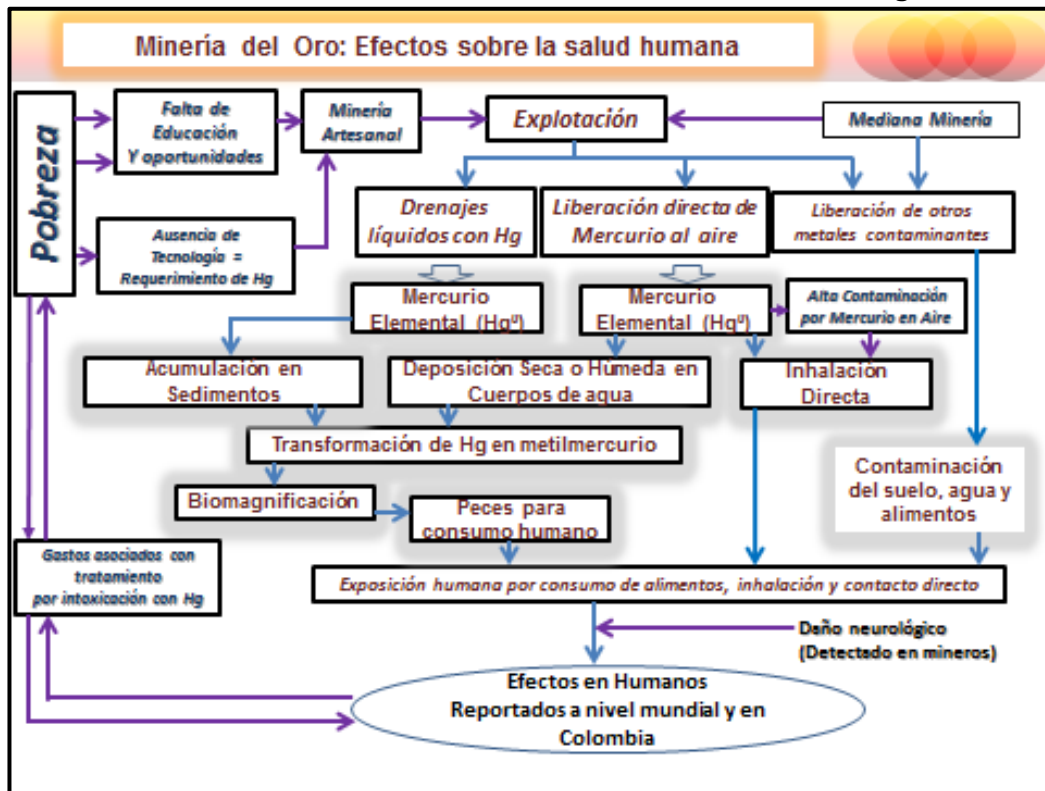
Entre los principales impactos de la gran minería del oro están los accidentes laborales, los cuales no sólo pueden causar lesiones permanentes, sino la muerte. Gran parte de estos problemas pueden reducirse dramáticamente con programas intensos de entrenamiento y el compromiso decidido de las multinacionales (Carrol, 2012).

Además de los posibles efectos que pueden presentarse por la liberación accidental de grandes cantidades de soluciones cianuradas con altos contenidos de metales en la gran minería de oro, también es posible que la remoción de material del subsuelo genere contaminantes de gran impacto sobre la salud humana. El grupo de los elementos denominados tierras raras, es decir, los quince lantánidos, además del escandio y el itrio, han sido encontrados en suelos de las áreas de procesamiento de mineral. De hecho, en un estudio publicado recientemente, y que fue ejecutado en una zona minera de la provincia de Fujian en el sudeste de China, la correlación entre la presencia de estos elementos en suelo y sangre de humanos fue alta y significativa ( $R^2=0.6556$ ,  $p<0.05$ ) (Li et al., 2013).

Es complejo realizar comparaciones entre las características y la magnitud de los impactos que sobre la salud humana y ambiental pueden suscitarse entre la gran minería y pequeña minería. En la primera, los trabajadores cuentan con algún tipo de seguridad social, y atención médica inmediata en caso de accidentes. Sin embargo, la escala de destrucción del suelo, puede verse inclusive desde el espacio. Por su parte en la pequeña minería, los mineros viven en situación extrema de abandono, sin seguridad social, producto de su estigmatización como ilegales, y en materia de accidentes, tienen pocas posibilidades de atención o supervivencia, y para empeorar el panorama, el uso del mercurio les cierra el círculo de la pobreza. No obstante, en esta minería el daño ambiental suele ser focalizado, y susceptible de control con tecnologías de bajo costo. Con transferencia de conocimiento, educación a todos los niveles y asesoría técnica, este tipo de minería disminuiría la pobreza extrema en muchas regiones de Colombia, y haría de esta actividad una herramienta de desarrollo sostenible.

De igual forma, la minería en general enfrenta otros retos importantes. Uno de los más complejos está relacionado con la presencia de VIH-Sida entre los mineros, característica que ha sido igualmente registrada en muchos países (Murray et al., 2011). Este problema tiene su origen en la falta de educación y en un estado cultural que ha sido socialmente impuesto al minero. La solución, por supuesto, implica mejorar las condiciones educativas de los mismos, insistir activamente en la detección y prevención de la enfermedad, así como cambiar patrones de comportamiento a través de programas de educación en salud pública. De hecho, en Brazil, el entrenamiento de los mineros por parte de los profesores locales, condujo a un mejoramiento absoluto en la exposición derivada de los procesos en los que se emplea el mercurio, impactando alrededor de un 10% en la liberación total de este metal en el área (Sousa y Veiga, 2009).

Un diagrama que muestra algunos de los aspectos más relevantes relacionados con los impactos de la minería del oro sobre la salud humana es mostrado en la Figura 1.



**Figura 1.** Algunos impactos de importancia de la minería del oro en la salud humana. Fuente: El autor. J.O.V.

### 3.3. LA MINERÍA DEL CARBÓN

A nivel mundial, el carbón es considerado como la fuente de energía que produce mayor contaminación en todas las etapas de su producción (minería, transporte, almacenamiento, preparación y transformación) y durante su consumo (Mamurekli, 2010). Por lo anterior, independiente de las implicaciones económicas involucradas con esta actividad, es claro que existe suficiente evidencia de los impactos derivados de la misma (Suárez-Ruiz et al., 2012; Orem y Finkelman, 2004; Younger, 2004), y cada año aparecen nuevas perspectivas de abordaje de la situación (Mittal, 2013; Liu et al., 2013). No obstante, siempre el punto de mayor preocupación en este sector es la generación de partículas, las cuales, luego de un período considerable de tiempo de exposición por inhalación, bien sea por mineros o personas que habitan en los alrededores de las minas, puede eventualmente desembocar en diversidad de patologías pulmonares, en particular la neumoconiosis (Mo et al., 2013), enfermedad inflamatoria de los pulmones que puede conducir a una pérdida total de la función pulmonar.

Durante la extracción y transporte de carbón se genera una diversidad de material particulado, cuya toxicidad depende del tamaño de las mismas, y de varios factores, tales como su naturaleza química, presencia de metales/metaloideos traza, entre los cuales son

comunes el plomo, cadmio, níquel, mercurio y arsénico entre otros. Las partículas de carbón, dependiendo del tamaño, tienen la capacidad de suspenderse en el aire, y en ocasiones dispersarse en el ambiente, recorriendo grandes distancias. En ese proceso, las mismas pueden ser inhaladas por los humanos, generando problemas respiratorios que usualmente varían con el tiempo de exposición. Aunque el sistema respiratorio posee mecanismos para remover estas partículas, en especial aquellas que se localizan en las vías respiratorias superiores, las depositadas en los pequeños alveolos pulmonares son mucho más difíciles de eliminar, y es allí en donde inician una serie de interacciones con las células presentes, lo que se traduce en procesos inflamatorios (Ghose, 2007; Ghose y Majee, 2007; Ming-Ho, 2005;). Para efectos normativos, las partículas respirables, en general, pueden clasificarse de acuerdo con el tamaño. En la legislación Colombiana, por ejemplo, partículas con un diámetro medio de 0.5-10 micrómetros, conocidas como MP<sub>10</sub> o PM<sub>10</sub>, son las que poseen regulaciones en cuanto a la protección de la salud humana. Partículas más pequeñas, las de diámetro igual o menor a 2.5 micrómetros (MP<sub>2.5</sub> o PM<sub>2.5</sub>), pueden penetrar aún mucho más en el tejido pulmonar, pero sobre ellas aún falta legislación en Colombia. No existe excusa alguna para no tenerla en la actualidad. En ambos casos, mediante diversos mecanismos, en los pulmones estas partículas generan especies reactivas de oxígeno, las cuales en exceso producen una condición conocida como estrés oxidativo. En conjunto con la liberación de citoquinas pro-inflamatorias, el estrés oxidativo resultante de la presencia de las partículas de carbón induce la generación de fibroblastos, células que pueden conducir al desarrollo de fibrosis del tejido pulmonar, y en algunos casos, si existe transformación celular, promoviendo la formación de cáncer (Karkhanis y Joshi, 2013).

Los efectos derivados de la presencia de este material particulado, comúnmente denominado polvillo de carbón, en los pulmones se traducen en una enfermedad denominada neumoconiosis, la cual puede avanzar a una forma más grave de la misma denominada fibrosis masiva progresiva (Cohen et al., 2008). En esta última la función pulmonar se ve comprometida debido a la extensa cicatrización y enfisema. Una vez los pulmones están comprometidos con fibrosis, son más susceptibles de adquirir enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) en sus formas comunes denominadas bronquitis crónica y enfisema (Flores et al., 2010).

Las principales enfermedades y efectos producidos en el organismo humano, teniendo en cuenta los lugares o zonas carboníferas en donde la propagación de las mismas ha sido elevada, son detalladas en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Manifestaciones clínicas de enfermedades producidas por el polvillo de carbón.

Lugar	Enfermedad	Efectos	Referencias
Virginia Occidental, Pittsburgh (U.S.A), Brasil,	Neumoconiosis	Desarrollo progresivo de nódulos redondos en el pulmón, cicatrización y enfisema, aparición de racimos de nódulos amorfos, necrosis, cambios	Castranova y Vallyathan (2000); Ulker et al. (2008); Leung

China.		degenerativos vasculares en arterias bronquiales y pulmonares, lesiones en vasos linfáticos, liberación de proteínas inflamatorias.	et al. (2012); MSD (2012)
Brasil, China	Fibrosis Masiva Progresiva	Formación de cicatrices en gran parte del pulmón (como mínimo de 1.5 cm de diámetro), destrucción del tejido pulmonar y de los vasos sanguíneos de los pulmones.	Leung et al. (2012); MSD (2012)
Turquía, China, Brasil, Sudáfrica, Hong Kong, Chile	Bronquitis crónica (EPOC)	Inflamación de las vías respiratorias, irritación constante, secreción excesiva de mucosidad, obstrucción del flujo aéreo, muerte prematura.	Zurro (2002); Giraldo (2008); Attfield (2011)
Chile, Estados Unidos	Enfisema (EPOC)	Obstrucción de las vías aéreas, disminución de la capacidad respiratoria, reducción de la elasticidad de la mucosa.	Zurro (2002); Giraldo (2008)
Kentucky, Estados Unidos.	Cáncer	Dificultad respiratoria, mucosidad excesiva, sibilancias, muerte.	ABT Associates (2004) Ahern et al. (2011)

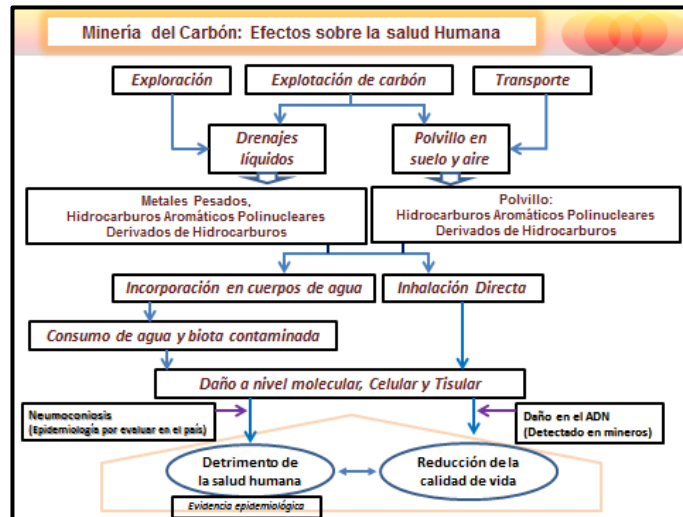
Por otra parte, varias investigaciones han sugerido una probable asociación entre la producción de carbón y la alta prevalencia e incremento de la mortalidad por enfermedades cardiopulmonares, cáncer y enfermedades renales, en habitantes de las cercanías a las minas de carbón (Hendryx y Luo, 2012; Hendryx et al., 2012b; Hendryx et al., 2012a; Hendryx y Fedorko, 2011; Hendryx et al., 2010a, 2010b; Hendryx, 2009; Hendryx y Zullig, 2009; Hendryx y Ahern, 2009; Hendryx y Ahern, 2008). Además, patologías con consecuencias cardiovasculares como la diabetes tipo 2, ha sido estadísticamente relacionada con la presencia de minas de carbón abandonadas (Liu et al., 2013a).

Otro aspecto importante que no involucra la minería del carbón, son los accidentes en las minas, siendo sus principales causas las fugas de gas, derrumbes, incendios y explosiones (Liu et al., 2013; Chen et al., 2012; Li et al., 2009).

En el país, los estudios sobre los posibles impactos de la minería del carbón sobre la salud son apenas incipientes, como quiera que en la literatura se encuentren muy pocas referencias al respecto. Un estudio realizado en trabajadores de El Cerrejón demostró que en comparación con un grupo de referencia, estos mineros tenían valores significativamente superiores de biomarcadores de genotoxicidad, es decir de daño al material genético (León-Mejía et al., 2011). Igualmente en Boyacá, altas prevalencias de síntomas relacionados con

neumoconiosis y enfermedad pulmonar crónica han sido identificadas (Jiménez et al. (2009).

Un diagrama que muestra algunos de los aspectos más relevantes relacionados con los impactos de la minería del carbón sobre la salud humana es mostrado en la Figura 2.



**Figura 2.** Algunos impactos de importancia de la minería del carbón en la salud humana. Fuente: El autor. J.O.V.

En general, muchas son las coincidencias que existen entre la minería del carbón y la del oro a gran escala, siendo la mayoría derivados de la generación de partículas durante las operaciones de desmonte. Algunas de los problemas derivados de la gran minería para estas dos minerales son mostradas en la Tabla 2.

### 3.4. LA MINERÍA DEL NÍQUEL

De acuerdo con la base de datos PubMed ([www.pubmed.gov](http://www.pubmed.gov)), no existe registro alguno sobre investigaciones relacionadas con este mineral en Colombia. Si bien es probable que hayan sido realizados trabajos universitarios al respecto, y se encuentren reportes de prensa al respecto, estos resultados no alcanzaron su publicación en revistas indexadas, lo cual, en síntesis, significa que no conocemos nada al respecto del impacto de la Mina de Cerromatoso, la única en el país, sobre la salud de las personas. En realidad, inclusive a nivel mundial, poco es conocido sobre los efectos del ferroníquel en la salud humana. La utilización de la palabra “ferronickel” en PubMed, sólo genera 14 publicaciones.

No obstante lo anterior, estudios señalan que el polvo depositado en viviendas ubicadas en una localidad ubicada en cercanías de un planta de procesamiento de ferroníquel en Macedonia, presentó una composición mineral diferente a la que típicamente podría encontrarse en una zona urbana, y por el contrario, fue semejante a la encontrada en el



mineral procesado en dicha planta. Es más, la distribución espacial de dichos minerales fue consistente con la dirección del viento y la deposición predicha a partir de las emisiones generadas durante el procesamiento del ferroníquel (Boev et al., 2013).

Durante el proceso de extracción, pero en particular durante las actividades metalúrgicas en la producción de níquel, las partículas de polvo generadas con sus diferentes minerales asociados, luego de su deposición en los ecosistemas hídricos, pueden ser biodisponibles para los peces y acumularse en sus tejidos (Oliveira-Filho et al., 2013), los cuales constituyen alimento para los humanos. Algunos de los aspectos más relevantes relacionados con los impactos de la minería del níquel sobre la salud humana son mostrados en la Tabla 3.

### **3.5. LA MINERÍA DE METALES ESTRATÉGICOS**

En los próximos años, la minería de metales estratégicos en Colombia, es decir, la extracción de columbita-tantalina, comúnmente conocida como **coltán**, será una actividad compleja, probablemente parecida a la actual minería del oro, involucrando componentes legales e ilegales, y con un panorama enrarecido por el control de los mismos por parte de grupos ilegales, especialmente en áreas sensibles del territorio nacional, como la Amazonía y la Orinoquía. De hecho, este mineral hace parte del denominado grupo de “minerales de conflicto”.

La información existente sobre el impacto en la salud humana de esta minería incipiente es nula en el país. Sin embargo, en una nación extractivista como la nuestra, no es complicado inferir que el futuro podría ser muy similar al que han alcanzado varios países asiáticos y africanos, y por ello, en esta sección serán detallados algunos impactos que sobre la salud humana podría tener la minería de estos minerales.

El coltán es un mineral que puede ser obtenido de manera artesanal, y en su forma natural puede contener material radioactivo, un riesgo difícil de comparar con el generado con la exposición a mercurio. Durante el proceso de extracción del coltán, los mineros pueden estar expuestos a altas dosis de radiación, en promedio hasta 18 mSv/año (Mustapha et al., 2007), cuando para el público en general, esta no debe sobrepasar 1 mSv/año. La presencia de material radioactivo en estos minerales, especialmente acompañando la Tantalita, suele ser elevada (Carvalho et al., 2013), poniendo en inminente riesgo a los mineros y sus familias.

En Colombia los yacimientos registrados de coltán están ubicados en la Orinoquía, en particular en Vichada, Guainía y Vaupés, siendo los indígenas locales los que desarrollan la extracción artesanal del mismo. Por supuesto, estos grupos son altamente vulnerables y se requiere que el estado preste mayor atención a la extracción artesanal de estos minerales, en especial liderando campañas de monitoreo de exposición a radiación.

Un diagrama que muestra algunos de los aspectos más relevantes relacionados con los impactos de la minería de minerales estratégicos sobre la salud humana es mostrado en la Figura 3.

Es de interés resaltar que para las actividades mineras descritas, la mayor parte de la información bibliográfica existente es de carácter internacional, con algunos aportes nacionales. Sin embargo, en conjunto, estos datos pueden ayudar con los diagnósticos específicos que deben ser realizados en el país. No obstante, el camino por recorrer es largo y deben considerarse multitud de experiencias internacionales, las cuales de alguna forma han cambiado la manera de utilizar la minería y otras actividades como fuente de desarrollo, y no como una forma de saqueo colonial. En la siguiente sección aparecen varios ejemplos que merecerían una oportunidad de réplica en el país.

#### **4. INICIATIVAS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD AMBIENTAL EN COLOMBIA**

El contexto de este capítulo está enmarcado en una breve discusión sobre algunas acciones que deberíamos implementar en Colombia sobre protección a la salud y el ambiente, en particular en relación con la minería. Se trata de aspectos que no dependen exclusivamente de legislaciones, sino de iniciativas exitosas de cambio. De hecho, muchos problemas de salud dependen poco de la existencia de normas, y más de vigilancia, acompañamiento, responsabilidad social y ante todo, presencia estatal.

En Colombia, el Ministerio de Minas y Energía, básicamente controla todas las actividades mineras, con poca o ninguna articulación con las Corporaciones Autónomas Regionales (CARs) y otros ministerios. Por ello, esta dependencia estatal se beneficiaría mucho de un Consejo sobre Calidad Ambiental, el cual garantizaría que los valores ambientales y riesgos sobre la salud humana sean considerados a la hora de la toma de decisiones. En EEUU, este consejo fue creado por el Congreso en 1969, y es una dependencia que asesora a la Casa Blanca (<http://www.whitehouse.gov/administration/eop/ceq>).

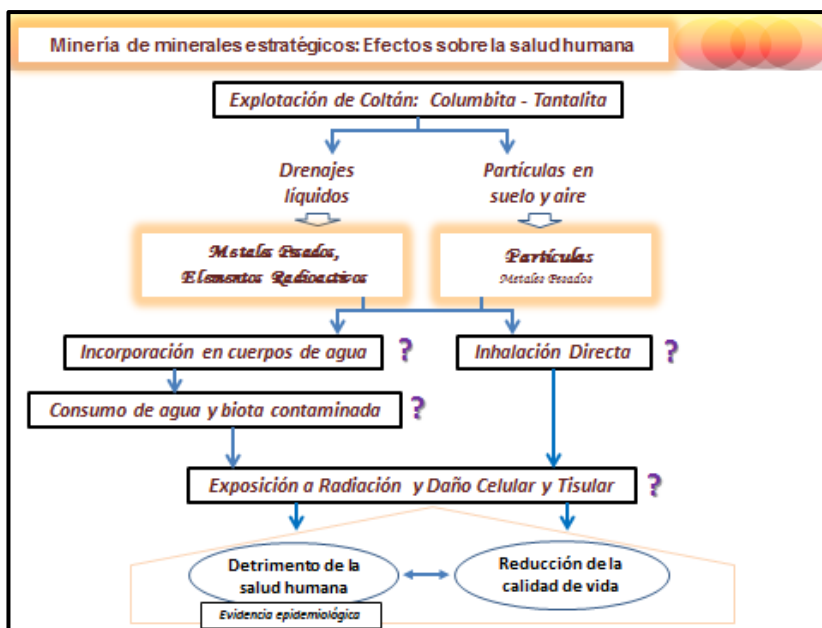
Uno de los problemas coyunturales que en materia de control ambiental existe en el país es el recurso humano y la infraestructura con que cuentan las CARs. A diferencia de lo que ocurre en las instancias internacionales, por ejemplo, en la Agencia de Protección Ambiental de USA (EPA), estas entidades no tienen personal calificado. Muy pocos poseen maestría, y contar con doctores es un lujo. Sumado a esto, los laboratorios se limitan a prestar servicios para captar recursos, sin programas efectivos y permanentes de monitoreo de contaminantes ni en humanos ni en muestras ambientales. Así, las posibilidades de generar discusión con argumentos científicos, datos de campo y evaluaciones sólidas de impacto son en extremo bajas. Esta es una desventaja que aprovechan las multinacionales mineras, quienes pueden contratar a asesores internacionales, con los cuales nuestros funcionarios sencillamente no pueden discutir. Algo similar ocurre en el Congreso, en donde la interacción entre los académicos del país y los legisladores es pobre, y cuando existe, las recomendaciones no son tenidas en cuenta.

**Tabla 2.** Efectos sobre la salud humana que han sido atribuidos a la minería a gran escala.

<b>País</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Efecto</b>	<b>Comentario</b>	<b>Referencias</b>
Sur África	Mina Gauteng Harmony.	Hipertensión.	El 39.5% de la población de la mina (N=1696) presentó hipertensión.	Maepe y Outhoff (2011).
EEUU (Carbón)	Estados de los Apalaches Centrales.	Malformaciones.	Niños que habitan en zonas cercanas a las minas de carbón presentaron mayores frecuencias de seis tipos de defectos: circulatorios/respiratorios, sistema nervioso central, músculo-esqueléticos, gastrointestinales, urogenitales y otros.	Ahern et al. (2011).
Suráfrica (Oro)	Todo el país.	Silicosis.	Durante el período comprendido entre 1975 y 2007, las proporciones de mineros auríferos blancos y negros con silicosis aumentaron de 18 al 22% y del 3 al 32%, respectivamente.	Nelson (2013).
Suráfrica (Oro)	Todo el país.	Pérdida de la función pulmonar.	Un minero que trabaja bajo una intensidad de partículas de 379 µg/m <sup>3</sup> for 30 años perderá 208 mL en capacidad vital forzada (FVC). Lo cual equivale a un impacto mayor al de silicosis y comparable con tuberculosis.	Ehrlich et al. (2013).

**Tabla 3.** Efectos sobre la salud humana que han sido atribuidos a la minería del Níquel.

<b>País</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Efecto</b>	<b>Comentario</b>	<b>Referencias</b>
Botswana	Selebi Phikwe	Palpitaciones, dolores abdominales de cabeza y en el pecho, tos, pérdida de peso, diarrea, constipación, náuseas, descargas genitales inusuales.	El SO <sub>2</sub> liberado de la planta de procesamiento fue el agente con mayor probabilidad de generar los efectos sobre la salud humana.	Ekosse (2011).
Canadá	Ontario	Cáncer de las vías respiratorias.	Cohorte de 54509 trabajadores de minería y procesamiento de níquel evaluados por 35 años. Incrementos en los casos de cáncer nasal y de pulmón, pero no en el de laringe.	Roberts et al. (1989).
China	Shenyang?	Disminución de la función pulmonar.	La capacidad vital forzada (FVC) y el volumen expirado forzado en un segundo (FEV1) fueron menores en los mineros retirados que en el control.	Xu et al. (1997)



**Figura 3.** Algunos impactos de importancia de la minería de minerales estratégicos en la salud humana. Fuente: El autor. J.O.V.

En EEUU, una de las normas más importantes que ha cambiado el panorama de contaminación del aire a nivel urbano y rural es la denominada Ley de Aire Limpio de 1963, (Clean Air Act), extendida en 1970, y enmendada en 1977 y 1990. Entre otros contaminantes, esta ley regula las emisiones de azufre, nitrógeno, plomo, monóxido de carbono y material particulado, y ha permitido disminuir la contaminación al tiempo que ha mejorado la economía. **En otras palabras, ha sido responsable de mostrar que el crecimiento de la economía puede ir de la mano con la protección de la salud pública,** mostrando que los beneficios exceden considerablemente el costo de disminuir la contaminación. En efecto, desde 1970 a 2011, las emisiones nacionales de seis contaminantes comunes disminuyeron en promedio 68%, mientras que producto interno bruto aumentó en 212% (<http://www.epa.gov/air/caa/>).

Nuestro país en general, en especial sin sacrificar el sueño de alcanzar un desarrollo sostenible a partir de procesos de extracción de minerales, lo cual es casi que virtualmente imposible si no se coloca un mínimo de valor agregado a los mismos, puede beneficiarse de una ley que considere enfrentar los problemas derivados de los pasivos ambientales de la minería, en especial la destrucción del suelo y la acumulación de materiales, algunos peligrosos, derivados de esta actividad. Un ejemplo a imitar podría ser la Ley de Respuesta, Compensación y Responsabilidad Ambientales Integrales de EEUU, Cercla Act, 1980), conocida como “Superfund” (<http://www.epa.gov/superfund/policy/cercla.htm>). Esta Ley específicamente creó un impuesto a la industria química y del petróleo para que las autoridades federales tuvieran los recursos necesarios para responder directamente a las

liberaciones o amenazas de liberación de sustancias peligrosas que puedan representar peligro para la salud pública o el ambiente. Los recursos obtenidos fueron a un fondo especial para limpiar sitios de residuos peligrosos abandonados o incontrolados, de acuerdo con una lista de prioridades nacionales. Un aspecto importante de Superfund es la investigación científica que involucra, en la cual participan multitud de grupos de investigación, ofreciendo alternativas de remediación y evaluación toxicológica para cada sitio en particular. Este fondo, por supuesto, no podría ser manejado por las Gobernaciones, como ocurre actualmente con las Regalías para Ciencia y Tecnología, dado que su operatividad pasaría al tema político y los recursos se desperdiciarían sin remedio. Este fondo sufrió un proceso de mejora (1986), enmarcado dentro de la Ley de Enmiendas y Reautorización del Superfund, en la cual se aumentaron considerablemente los recursos, se incorporó la responsabilidad de los estados, así como la participación de la ciudadanía, con un énfasis hacia el impacto de estos sitios sobre la salud humana. En principio, todas las zonas mineras del país podrían, sin lugar a dudas, convertirse en sitios Superfund.

En un país en donde la educación de la mayoría de la sociedad no es una prioridad real, es de suma importancia garantizar que las comunidades tengan la información pertinente, científica y actualizada sobre los impactos de la minería sobre la salud y los ecosistemas. En EEUU existe la Ley de Planificación de Emergencias y Derecho Comunitario a la Información. Expedida en 1986, esta normativa establece los requisitos de las autoridades para que las personas conozcan sobre las sustancias químicas y peligrosas empleadas o generadas en las empresas, así como los reportes a partir de los accidentes en las mismas. Una ley de esta naturaleza, implementada al menos en un porcentaje reducido, generaría cambios de conducta y compromisos tanto en los gobiernos locales, como en las comunidades afectadas.

Ahora bien, en realidad no sólo EEUU ha implementado legislaciones para permitir un desarrollo económico que no comprometa el patrimonio ambiental ni la salud de las personas. Muchos de nuestros vecinos, al igual que nosotros, lo pensamos, tal vez lo intentamos, pero no lo estamos logrando. Para alcanzar un punto de equilibrio ambiental, falta seguimiento, disminuir la corrupción a todos los niveles, y despertar frente a una realidad que nadie desea aceptar: el país está comprometiendo su patrimonio natural y ambiental, sin aumentar su capacidad tecnológica y generando un pasivo que no puede trasladarse a las futuras generaciones, quienes finalmente tendrían muchas dificultades de desarrollo sostenible.

## **5. SITUACIÓN ACTUAL EN COLOMBIA Y PROPUESTAS DE SOLUCIÓN**

En Colombia, la situación de la minería como factor que impacta la salud de las personas ha sido muy poco documentada, aunque como ha sido brevemente descrito en las secciones anteriores, estos efectos son similares a lo largo del planeta, en especial si se trata de países tercermundistas. Un resumen de los principales problemas, y algunas alternativas de solución que pueden desarrollarse a corto y mediano plazo es presentado en la Tabla 3.

En general, la mayoría de los impactos negativos derivados de la minería en Colombia están directamente relacionados, sin excepción, con la pobreza reinante en gran parte de las zonas de extracción de minerales del país. Esta pobreza está tan arraigada en el seno mismo de las comunidades, que hasta logra enmascarse como una característica cultural propia. El origen de este problema, muy probablemente está en la ausencia de Estado y en el aislamiento que deriva de tal situación. Por ello, la presencia de programas estatales básicos y el acompañamiento en los diversos procesos productivos y sociales que tienen lugar en estas áreas, mejoraría ostensiblemente la situación. Esta penetración del estado debe ser directa y en todos los niveles, permeando fundamentalmente la educación y la salud, las cuales, suelen ser de una pésima calidad, en aquellos afortunados sitios en donde existe. Para algunas zonas de minería aurífera en el Sur de Bolívar, por ejemplo, aunque la mayor parte de la población son niños, las escuelas suelen abrir en Marzo y cerrar en Octubre, todo supeditado a subcontratación de profesores mediante diversos intermediarios. Bajo el probable sesgo del autor y basado en visitas realizadas a la zona, gran parte del trabajo académico de estos niños se restringe a la celebración de partidos de fútbol.

Llama la atención que en la zonas de minería aurífera, el VIH-SIDA constituye una preocupación muy grande entre los mineros y sus familias, y aunque el fenómeno suele presentarse en otros tipos de minería, es urgente identificar la magnitud del problema y proveer soluciones inmediatas para que el mismo no se convierta en una muralla imposible de cruzar con los recursos percibidos por el estado a través de las regalías. Lo anterior sumado a la permanente exposición a mercurio elemental a la cual todos están inexorablemente sometidos en zonas de minería aurífera en Colombia.

Aunque no existe información científica que pueda comparar cuantitativamente el daño ambiental y sobre la salud humana derivado de la gran minería, con respecto a la generada con la minería informal focalizada o pequeña minería, es posible destacar que las problemáticas a abordar son diferentes en cada caso. Por ejemplo, en la minería aurífera informal, el mercurio y el trabajo de los niños constituirían factores negativos sobre la salud y el desarrollo, en contraste con la supervivencia de miles de familias que derivan el sustento diario de esta actividad. En este sentido, la implementación de prácticas mineras sin la utilización de mercurio y control de sedimentos, además del apoyo permanente del gobierno en salud y educación, prácticamente haría de la pequeña minería aurífera una actividad sostenible. Por el contrario, aunque existe bajo el amparo de la "legalidad", la gran minería, además de inutilizar el territorio y alterar por completo el ecosistema, genera muy

poco empleo, incumple en muchos casos la normatividad ambiental y muestra poco interés sobre las posibles afectaciones a las comunidades aledañas, particularmente por partículas suspendidas en el aire y lixiviados, fenómeno especialmente generalizado en el caso del carbón.

La ausencia de educación entre la población minera y sus áreas de influencia conmina a la desinformación y por tanto a la falta de interés y preocupación por los problemas, a pesar de estarlos experimentando de manera cotidiana. Esto a su vez empuja a la niñez a evitar la escuela y a interesarse a edad temprana por la minería, como única posibilidad de desarrollo humano, hecho que pliega el círculo de pobreza haciéndolo crecer indefinidamente. Resulta fundamental que además de la urgente necesidad de caracterizar detalladamente los impactos asociados con la minería sobre la salud en las personas de áreas mineras en Colombia, dichos resultados estén disponibles no sólo para los tomadores de decisiones, sino para la comunidad en general. Si esto no ocurre, será virtualmente imposible romper el círculo de la pobreza.

En síntesis, la revisión realizada sugiere la necesidad de generar datos científicos caracterizando y cuantificando los impactos de la minería sobre la salud de las comunidades localizadas en sus zonas de influencia, transferir esta información a las mismas, realizar una decidida intervención estatal, en particular en educación, salud y transferencia de tecnología en las zonas de minería artesanal o informal, y garantizar que la gran minería participe directamente en los procesos de desarrollo de las comunidades que impacta.

**Tabla 3.** Situación actual en Colombia y propuestas de solución.

Situación Actual	Propuesta de Solución	Impactos Esperados	Metas	Líder	Condiciones de Éxito
<b>Minería en General</b>					
Alto riesgo de enfermedades de transmisión sexual.	Capacitación en salud para los mineros y personal de asistencia en salud.  Presencia estatal en las minas.	Disminución de gastos en salud y bienestar general de las comunidades.	A 2015: Conocimiento de la prevalencia de VIH/SIDA en la población minera del país, su condición socioeconómica y de salud. En 2015 debe iniciar el Programa de intervención de la población VIH+ en todas las regiones mineras de Colombia.	INS/MSPS y Universidades.	Orden público apropiado. Compromiso de gobernador y alcaldes.
Alto riesgo de alcoholismo.		Ahorros en gastos en salud y bienestar general de las comunidades. Menores índices de violencia.	A 2015: Conocimiento de la prevalencia de alcoholismo y estado neurológico de la población minera del país, su condición socioeconómica y de salud.	INS/MSPS y Universidades.	
<b>Minería de oro</b>					
Exposición a mercurio durante la extracción de oro.  Ley de mercurio sin herramientas para mejorar la situación de contaminación por el metal.	Transferencia de tecnología al pequeño minero para evitar el uso del mercurio. Programas de Educación Ambiental sobre	Mejoramiento de la calidad de vida de los mineros en términos de salud e ingresos.	A 2023: La minería de oro en Colombia debe ser libre de Hg. En 2014 deben iniciar los programas de transferencia de tecnología, en conjunción con capacitación técnica de los mineros.	MSPS, ME.	Orden público apropiado. Compromiso de gobernador y alcaldes.
		Disminución de los	A 2015: Todos los médicos rurales en		



	<p>los impactos negativos del mercurio en la salud humana.</p> <p>Modificar la Ley de Mercurio considerando las propuestas de los expertos.</p>	<p>problemas de salud en los pequeños mineros.</p> <p>Verdadera reducción del uso del mercurio en la Minería del Oro.</p>	<p>zonas mineras deben estar capacitados en la identificación de problemas de salud derivados de la exposición a Hg.</p> <p>A 2015. Contar con una Ley de Mercurio coherente con la realidad y que exprese concretamente el tipo de ayuda que los pequeños mineros recibirán para evitar el uso del mercurio en la extracción de oro.</p>	<p>ME. Universidades.</p> <p>Congreso de la República</p>	<p>adecuado.</p> <p>Que el Congreso Legisle con base en recomendaciones de los científicos.</p>
<p>Desconocimiento de los efectos del mercurio tanto para los mineros como sus familias.</p> <p>Ausencia de identificación de efectos de exposición a mercurio.</p>	<p>Educación en salud Ambiental.</p> <p>Creación de App sobre el Hg.</p> <p>Capacitación de médicos, enfermeras, personal de salud pública en zonas mineras.</p>	<p>Contar con una minería libre de Hg.</p> <p>Mejor calidad de vida de las personas y aumento de longevidad.</p> <p>Mejora en la capacidad de diagnóstico de exposición a Hg.</p> <p>Disminución de los efectos en personas expuestas.</p>	<p>A 2015: Todos los médicos rurales en zonas mineras deben estar capacitados en la identificación de problemas de salud derivados de la exposición a Hg.</p> <p>A 2015. Contar con una App que suministre información sobre el Hg para los mineros y comunidades.</p> <p>A 2016: Todos los profesores y habitantes de zonas mineras deben estar capacitados en los riesgos derivados de la utilización de Hg en la salud humana.</p>	<p>ME, Universidades, MINTIC.</p>	<p>Compromiso de gobernador y alcaldes.</p> <p>Proyectos por regalías.</p>

Muertes permanentes por derrumbes en pequeña y mediana minería.	Monitoreos permanentes de las condiciones de seguridad.	Menos muertes por accidentes en las minas.	En 2015 iniciar un programa de incentivos para legalizar los entables mineros en áreas de minería aurífera artesanal.	MSPS, MADS, MM.	Compromiso de gobernador y alcaldes.
Presencia y sub-registro de enfermedades de transmisión sexual.	Capacitación en salud para los mineros. Presencia estatal en las minas.	Reducción en la incidencia y prevalencia de VIH/SIDA.	A 2015: Conocimiento de la prevalencia de VIH/SIDA en la pequeña minería de oro del país, su condición socioeconómica y de salud. MSPS. En 2015 debe iniciar el Programa de intervención de la población VIH+ en todas las minas artesanales de Colombia.	MSPS.	Compromiso de gobernador y alcaldes.
Trabajo de los niños en las minas y exposición a químicos.	Aplicar la ley de protección al menor y prohibir la coocurrencia de los emplazamientos mineros con las comunidades.	Niños con mejores posibilidades de avanzar académicamente debido a menor exposición a metales pesados.	A 2020. Erradicar la incorporación de los niños como fuerza laboral en la minería artesanal. En las zonas mineras deben mejorarse las escuelas existentes y construirse nuevas con excelentes profesores. A 2015 Ninguna escuela debe estar ubicada en el interior de áreas de extracción o procesamiento de minerales.	ME, MM, MSPS.	Recursos de regalías disponibles.
Ausencia de programas de formación técnica/universitaria en zonas mineras.	Creación de programas de pregrado de Minería Ambiental/Sostenible en zonas mineras.	Incremento en la calidad de vida de las familias, derivada de mejores ingresos.	A 2016. Existencia de al menos cinco programas técnicos y profesionales de Minería Ambiental/Sostenible en zonas auríferas. El MEN debe abrir convocatorias específicas para apoyar estos programas a través de convenios con el MINMINAS y universidades acreditadas.	MINMINAS, MEN.	Aporte de infraestructura por parte de los alcaldes.
<b>Minería de carbón</b>					

<p>Exposición a polvillo de carbón.</p>	<p>Evitar asentamientos humanos alrededor de las minas. Establecimiento de barreras forestales con especies nativas.</p>	<p>Menor frecuencia de enfermedades respiratorias en la población.</p>	<p>A 2015. Nueva legislación colombiana sobre límites máximos permisibles de partículas con tamaño inferior a 2.5 micras. En la actualidad esta normatividad no existe en el país. En 2015. Implementar un portal con información satelital sobre concentración de partículas en el aire, tanto en zonas mineras como en su área de influencia, con actualización en tiempo real. Este sistema debe estar implementado a 2016.</p>	<p>MADS y Congreso de la República.  MEN.</p>	<p>Supervisión permanente por las CARs y la comunidad.</p>
<p>Las poblaciones cercanas a los sitios de extracción minera, o en posible intervención a futuro, experimentan problemas socioeconómicos que redundan en su salud.</p>	<p>Crear programas de manejo especial de zonas mineras, evitando el establecimiento de comunidades expuestas a partículas y con bajas expectativas de desarrollo.</p>	<p>Aumento en la esperanza de vida de las personas y mejoramiento de su calidad de vida.</p>			

<p>A mediano plazo existirán minas abandonadas cubriendo grandes áreas de terreno. Las afectaciones derivadas incluyen la contaminación de aguas subterráneas y superficiales. Ausencia de programas para la recuperación de minas agotadas.</p>	<p>Creación de un fondo especial para programas de mitigación de impactos derivados de minas cerradas. Exigir a las multinacionales una garantía de USD\$100.000.000 para iniciar explotación. Si la remediación no es efectiva, el estado podrá utilizar esos recursos para compensación.</p>	<p>Necesidad de legislar para garantizar la mínima liberación posible de contaminantes. Sostenibilidad ambiental a mediano y largo plazo.</p>	<p>A 2015. Nueva legislación sobre cierre de minas, la cual deberá incluir el pago de pólizas para remediación y recursos de regalías, manejados por COLCIENCIAS para investigación en esta área.</p>	<p>MADS, MINMINAS, COLCIENCIAS.</p>	<p>Voluntad política para incluir en la legislación los fondos de destinación especial al cierre de minas.</p>
<p>Ausencia de conocimiento sobre los aportes de metales pesados al suelo, cuerpos de agua y biota residente en sitios aledaños a las minas.</p>	<p>Monitoreo permanente de suelos, aguas superficiales y subterráneas, que incluya, entre otros, análisis de elementos por ICP-MS.</p>	<p>Prevención de la exposición y de enfermedades crónicas asociadas con metales pesados.</p>	<p>A 2015 debe contarse con una Red de Monitoreo Ambiental en Zonas Mineras. Esta Red debe ser un consorcio o unión temporal de Universidades Acreditadas con grupos de investigación que tengan experiencia en la temática ambiental.</p>	<p>MADS, MINMINAS, COLCIENCIAS.</p>	<p>Apropiar recursos de regalías para investigación en el área.</p>

	Estudios epidemiológicos que contemplen el análisis de metales en mineros y sus familias.				
Desconocimiento de la composición y cantidad de residuos generados por este tipo de minería.	Creación de bases de datos de residuos de la actividad minera.	Evaluaciones precisas de los posibles impactos futuros sobre la salud humana.	En 2014. Implementar un programa para inventariar y catalogar todos los residuos generados por la industria minera del país, reportando donde se encuentran, su cantidad, naturaleza química y destino probable. Esta aplicación/base de datos debe estar disponible en un portal de internet.	MADS, MINMINAS, COLCIENCIAS.	Apropiar recursos de regalías para investigación en el área.
Dificultad para acceder a las minas para realizar estudios desde el ámbito gubernamental.	Las Secretarías de Minas de los Departamentos deben tener pleno acceso a las minas para actividades de monitoreo, supervisión o vigilancia.	Tener muestras para establecer impactos. La información actual sobre deterioro ambiental es fundamentalmente externa a las minas.	A 2015. Expedición de normatividad para garantizar el acceso de las autoridades ambientales y de control a cualquier mina ubicada en territorio colombiano.	MINMINAS.	Incluir en la normatividad el acceso a las minas con fines de investigación y control.
<b>Minería de Níquel</b>					
Ausencia de información epidemiológica en	Realizar estudios epidemiológicos	Contar con información, por primera vez, del	En 2014. Iniciar el primer estudio epidemiológico sobre la situación de salud en Cerromatoso y toda el área de	MADS,	Disponibilidad

mineros de Cerromatoso y en habitantes de las áreas urbanas de los municipios en zona de influencia de la mina.	y ambientales en Cerromatoso.	impacto de las operaciones mineras y de la fundición.	influencia de la mina de ferroníquel.	Universidades acreditadas.	de recursos de regalías.
---	-------------------------------	---	---------------------------------------	----------------------------	--------------------------

MSPS. Ministerio de salud y protección social; MADS. Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. INS. Instituto Nacional de Salud. ME. Ministerio de Educación. MINTIC. Ministerio de las TICS. MINMINAS. Ministerio de Minas y energía.

## **CONCLUSIONES**

- Los problemas de salud asociados con la minería en Colombia están íntimamente ligados a factores de pobreza extrema, ausencia de estado, falta de educación, asesoría técnica y transferencia tecnológica, entre otros aspectos.
- Existe poca documentación científica sobre el impacto de la minería en la salud de los colombianos.
- El impacto sobre la salud derivado de las actividades mineras en Colombia es similar al detectado en otros países del mundo, en particular los tercermundistas.
- El mercurio y el material particulado, son los principales agentes etiológicos en las patologías asociadas con la minería del oro y el carbón, respectivamente.

## **RECOMENDACIONES**

- Realizar estudios epidemiológicos de las poblaciones mineras para conocer el estado actual de salud de los trabajadores y de las comunidades aledañas a las minas.
- Desarrollar, operar y mantener una red de monitoreo de aguas subterráneas y superficiales en todas las zonas mineras del país, de tal forma que esta información esté disponible en tiempo real para la ciudadanía y las autoridades. La información generada en la red de monitoreo debe hacerse disponible a la comunidad en tiempo real.
- Crear el Observatorio de la Salud en la Minería colombiana.
- Crear un fondo y un cronograma para las actividades de cierre de minas y la recuperación de las zonas explotadas. Este impuesto ambiental, pagado por las empresas extractivas, deben ser empleado en ahorro para el futuro, educación, salud, reforestación, protección de cuencas, ecosistemas estratégicos y recuperación de suelos.
- Erradicar la miseria de las comunidades involucradas en la minería del carbón, oro y otros minerales.
- Cuando el estado considere que es necesario realizar la ampliación de áreas de extracción mineras, aquellas comunidades a ser desplazadas no deben abandonarse durante el período previo al traslado, como ocurre en varias zonas de minería en el Cesar. El Estado debe garantizar la inversión en salud, educación y cultura en estas comunidades mientras es realizado el proceso de reubicación.
- Reducir las emisiones de polvo de carbón para evitar la dispersión de contaminantes y sus efectos directos sobre la población.
- Realizar seguimiento y evaluación del impacto ambiental de la minería sobre los ecosistemas aledaños a las zonas de extracción.
- Especialmente en la minería del oro, desarrollar programas para que el proceso de extracción del mineral no sea realizado en el interior de las viviendas empleadas como unidad familiar.

## REFERENCIAS

- ABT Associates. 2004. Clean Air Task Force. Dirty Air, Dirty Power: Mortality and Health Damage Due to Air Pollution from Power Plants.
- Ahern MM, Hendryx M, Conley J, Fedorko E, Ducatman A, Zullig KJ. 2011. The association between mountaintop mining and birth defects among live births in central Appalachia, 1996–2003. *Environ Res.* 111: 838–846.
- Attfield MD. 2011. Centers for Disease Control and Prevention. Current intelligence bulletin 64: coal mine dust exposures and associated health outcomes - a review of information published since 1995. DHHS (NIOSH), 172, Disponible en <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2011-172>.
- Boev B, Stafilov T, Bačeva K, Šorša A, Boev I. 2013. Influence of a nickel smelter plant on the mineralogical composition of attic dust in the Tikveš Valley, Republic of Macedonia. *Environ Sci Pollut Res Int.* 20: 3781-3788.
- Bose-O'Reilly S, Lettmeier B, Matteucci Gothe R, Beinhoff C, Siebert U, Drasch G. 2008. Mercury as a serious health hazard for children in gold mining areas. *Environ Res.* 107: 89-97.
- Bose-O'Reilly S, Drasch G, Beinhoff C, Tesha A, Drasch K, Roider G, Taylor H, Appleton D, Siebert U. 2010. Health assessment of artisanal gold miners in Tanzania. *Sci Total Environ.* 408: 796-805.
- Böse-O'Reilly S, Drasch G, Beinhoff C, Maydl S, Vosko MR, Roider G, Dzaja D. 2003. The Mt. Diwata study on the Philippines 2000-treatment of mercury intoxicated inhabitants of a gold mining area with DMPS (2,3-dimercapto-1-propane-sulfonic acid, Dimaval). *Sci Total Environ.* 307: 71-82.
- Bose-O'Reilly S, Drasch G, Beinhoff C, Rodrigues-Filho S, Roider G, Lettmeier B, Maydl A, Maydl S, Siebert U. 2010. Health assessment of artisanal gold miners in Indonesia. *Sci Total Environ.* 408: 713-725.
- Carrol C. 2012. The CEO of Anglo American on getting serious about safety. *Harv Bus Rev.* 90: 43-46.
- Carvalho FP, Matine OF, Taimo S, Oliverira JM, Silva L, Malta M. Radionuclides and radiation doses in heavy mineral sands and other mining operations in Mozambique. *Radiat Prot Dosimetry.* 2013. Aug. 15.
- Castranova V, Vallyathan V. 2000. Silicosis and coal workers' pneumoconiosis. *Environ Health Perspect.* 108: 675-684.
- Charles E, Thomas DS, Dewey D, Davey M, Ngallaba SE, Konje E. 2013. A cross-sectional survey on knowledge and perceptions of health risks associated with arsenic and mercury contamination from artisanal gold mining in Tanzania. *BMC Public Health.* 13: 74.
- Chen H, Qi H, Long R, Zhang M. 2012. Research on 10-year tendency of China coal mine accidents and the characteristics of human factors. *Safety Sci.* 50: 745-750.
- Cohen RA, Patel A, Green FH. 2008. Lung disease caused by exposure to coal mine and silica dust. *Semin Respir Crit Care Med.* 29: 651-661.



- Cooper GS, Parks CG, Treadwell EL, St Clair EW, Gilkeson GS, Dooley MA. 2004. Occupational risk factors for the development of systemic lupus erythematosus. *J Rheumatol.* 31: 1928-1933.
- Cordy P, Veiga M, Crawford B, García O, Gonzalez V, Moraga D, Roeser M, Wip D. 2013. Characterization, mapping and mitigation of mercury vapour emissions from artisanal mining gold shops. *Environ Res.* 125: 82-91.
- Cunningham SA. 2005. Incident, accident, catastrophe: cyanide on the Danube. *Disasters.* 29: 99-128.
- Dooyema CA, Neri A, Lo YC, Durant J, Dargan PI, Swarthout T, Biya O, Gidado SO, Haladu S, Sani-Gwarzo N, Nguku PM, Akpan H, Idris S, Bashir AM, Brown MJ. 2012. Outbreak of fatal childhood lead poisoning related to artisanal gold mining in northwestern Nigeria, 2010. *Environ Health Perspect.* 120: 601-607.
- Ehrlich RI, Myers JE, te Water Naude JM, Thompson ML, Churchyard GJ. 2011. Lung function loss in relation to silica dust exposure in South African gold miners. *Occup Environ Med.* 68: 96-101.
- Ekosse GI. 2011. Health status within the precincts of a nickel-copper mining and smelting environment. *Afr Health Sci.* 11: 90-96.
- Fernandes Azevedo B, Barros Furieri L, Peçanha FM, Wiggers GA, Frizzera Vassallo P, Ronacher Simões M, Fiorim J, Rossi de Batista P, Fioresi M, Rossoni L, Stefanon I, Alonso MJ, Salaces M, Valentim Vassallo D. 2012. Toxic effects of mercury on the cardiovascular and central nervous systems. *J. Biomed. Biotechnol.* 2012: 1-11.
- Flores C, Solís M, Fortt A, Valdivia G. 2010. Association between indoor pollution, respiratory symptoms and COPD in Santiago, Chile: PLATINO Study. *Rev Chil Enferm Respir.* 26: 72-80.
- Gallagher, C.M., Smith, D.M., Golightly, M.G., Meliker, J.R. Total blood mercury and rubella antibody concentrations in US children aged 6-11 years, NHANES 2003-2004. *Sci. Total Environ.* 442:48-55.
- Ghose MK, Majee SR. 2007. Characteristics of hazardous airborne dust around an Indian surface coal mining area. *Environ Monit Assess.* 130: 17-25.
- Ghose MK. 2007. Generation and quantification of hazardous dusts from coal mining in the Indian context. *Environ Monit Assess.* 130: 35-45.
- Giraldo Estrada, H. 2008. EPOC Diagnóstico y tratamiento integral Con énfasis en la rehabilitación pulmonar. Panamericana. 3-Edición.
- Hendryx M, Ahern MM. 2008. Relations between health indicators and residential proximity to coal mining in West Virginia. *Am J Public Health.* 98: 669-671.
- Hendryx M, Ahern MM. 2009. Mortality in appalachian coal mining regions: the value of statistical life lost. *Public Health Rep.* 124: 541-550.
- Hendryx M, Ducatman AM, Zullig KJ, Ahern MM, Crout R. 2012a. Adult tooth loss for residents of US coal mining and Appalachian counties. *Comm Dent Oral Epidemiol.* 40: 488-497.

- Hendryx M, Fedorko E, Anesetti-Rothermel A. 2010a. A geographical information system-based analysis of cancer mortality and population exposure to coal mining activities in West Virginia, United States of America. *Geospat Health*. 4: 243-256.
- Hendryx M, Fedorko E, Halverson J. 2010b. Pollution sources and mortality rates across rural-urban areas in the United States. *J Rural Health*. 26: 383-391.
- Hendryx M, Fedorko E. 2011. The relationship between toxics release inventory discharges and mortality rates in rural and urban areas of the United States. *J Rural Health*. 27: 358-366.
- Hendryx M, Luo J. 2012. Cancer hospitalizations in rural-urban areas in relation to carcinogenic discharges from Toxics Release Inventory facilities. *Int J Environ Health Res*. 23:155-169.
- Hendryx M, Wolfe L, Luo J, Webb B. 2012b Self-reported cancer rates in two rural areas of West Virginia with and without mountaintop coal mining. *J Community Health*. 37: 320-327.
- Hendryx M, Zullig KJ. 2009. Higher coronary heart disease and heart attack morbidity in Appalachian coal mining regions. *Prev Med*. 49: 355-359.
- Hendryx M. 2009. Mortality from heart, respiratory, and kidney disease in coal mining areas of Appalachia. *Int Arch Occup Environ Health*. 82: 243-249.
- Hilson G, Sandra P. 2006. Mercury: An agent of poverty in Ghana's small-scale gold-mining sector?. *Resources Policy*. 31: 106-116.
- Jiménez NMG, Abril FGM, Díaz JMO, Cubaque MAR, Villamil EH. 2009. Utilidad de las técnicas de espirometría y oximetría en la predicción de alteración pulmonar en trabajadores de la minería del carbón en Paipa-Boyacá. *Rev Fac Med (Bogotá)*. 57: 100-110.
- León-Mejía G, Espitia-Pérez L, Hoyos-Giraldo LS, Da Silva J, Hartmann A, Henriques JA, Quintana M. 2011. Assessment of DNA damage in coal open-cast mining workers using the cytokinesis-blocked micronucleus test and the comet assay. *Sci Total Environ*. 409: 686-691.
- Leung CC, Tak Sun Yu I, Chen W. 2012. Seminar: Silicosis. *Lancet*. 379: 2008-2018.
- Li X, Song X, Meng X. 2009. Fatal gas accident prevention in coal mine: a perspective from management feedback complexity. *Procedia Earth Planet Sci*. 1: 1673-1677.
- Li X, Chen Z, Chen Z, Zhang Y. 2013. A human health risk assessment of rare earth elements in soil and vegetables from a mining area in Fujian Province, Southeast China. *Chemosphere*. 93: 1240-1246.
- Liu AY, Curriero FC, Glass TA, Stewart WF, Schwartz BS. 2013a. The contextual influence of coal abandoned mine lands in communities and type 2 diabetes in Pennsylvania. *Health Place*. 22: 115-122.
- Liu Q, Hu Y, Bai C, Chen M. 2013. Methane/coal dust/air explosions and their suppression by solid particle suppressing agents in a large-scale experimental tube. *J Loss Prev Process Ind*. 26: 310-316.
- Lubick N. 2010. Mercury alters immune system response in artisanal gold miners. *Environ. Health Perspect*. 118:A243.
- Maepe LM, Outhoff K. 2011. Hypertension in goldminers. *S Afr Med J*. 102: 30-33.

- Mamurekli D. 2010. Environmental impacts of coal mining and coal utilization in the UK. *Acta Montanistica Slovaca Ročník*. 15: 134-144.
- Ming-Ho Y. Air Pollution – Particulate Matter. In: CRC Press, editor. *Environ Toxicol Biol Health Effects Poll*. 2005.
- Mittal M. 2013. Limiting oxygen concentration for coal dusts for explosion hazard analysis and safety. *J. Loss Prevent. Proc. Ind. In press*.
- Mo J, Wang L, Au W, Su M. 2013. Prevalence of Coal Workers' Pneumoconiosis in China: a Systematic Analysis of 2001–2011 studies. *Inter J Hyg Environ Health*. 2013. *In press*.
- MSD, Merck Sharp & Dohme Corp. 2012. Retrieved 27 de Mayo de 2013 from <http://pacientes.msd.com.co/manual-merck/004-trastornos-aparato-respiratorio/038-enfermedades-pulmonares-origen-ocupacional/pulmon-negro.aspx>
- Murray J, Davies T, Rees D. 2011. Occupational lung disease in the South African mining industry: research and policy implementation. *J Public Health Policy*. 32: S65-79.
- Mustapha AO, Mbuzukongira P, Mangala MJ. 2007. Occupational radiation exposures of artisanal mining columbite-tantalita in the eastern Democratic Republic of Congo. *J Radiol*. 27: 187-195.
- Nelson G. 2013. Occupational respiratory diseases in the South African mining industry. *Glob Health Action*. 6: 89-98.
- Oliveira-Filho EC, Lima LS, Muniz DH, Ferreira MF, Malaquias JV, Grisolia CK. 2013. Bioavailability Assessment of Metals from a Nickel Mining Residue in the Gastrointestinal Tract of *Oreochromis niloticus* In Vivo. *Bull Environ Contam Toxicol*. 91: 533-538.
- Olivero-Verbel J. 2010. Colombia: Environmental Health Issues/00395. *Encyclopedia of Environmental Health (NVRN)*.
- Olivero-Verbel J, Arguello E, Johnson B. 2002. Human exposure to mercury in San Jorge river basin, Colombia (South America). *Sci Total Environ*. 289: 41-47.
- Olivero-Verbel J, Caballero-Gallardo K, Negrete-Marrugo J. 2011. Relationship between localization of gold mining areas and hair mercury levels in people from Bolivar, North of Colombia. *Biol Trace Elem Res*. 144: 118-132.
- Olivero-Verbel J, Mendoza, C., Mestre J. 1995. Hair mercury levels in different occupational groups in Southern Bolivar (Colombia). *Rev. Saude Pública*. 29:376-380.
- Orem WH, Finkelman RB. 2004. Coal formation and geochemistry. In: Holland, H.D., Turekian, K.K., Mackenzie, F.T. (Eds.), *Treatise on Geochemistry, Sediments Diagenesis and Sedimentary Rocks*, vol. 7. Elsevier, Amsterdam, pp. 191–222.
- Park JD, Zheng W. 2012. Human exposure and health effects of inorganic and elemental mercury. *J Prev Med Public Health*. 45: 344-352.
- Plumlee GS, Durant JT, Morman SA, Neri A, Wolf RE, Dooyema CA, Hageman PL, Lowers HA, Fernette GL, Meeker GP, Benzel WM, Driscoll RL, Berry CJ, Crock JG, Goldstein HL, Adams M, Bartrem CL, Tirima S, Behbod B, von Lindern I, Brown MJ. 2013. Linking geological and health sciences to assess childhood lead poisoning from artisanal gold mining in Nigeria. *Environ Health Perspect*. 121: 744-750.

- Prochazkova J, Sterzl I, Kucerova H, Bartova J, Stejskal VD. 2004. The beneficial effect of amalgam replacement on health in patients with autoimmunity. *Neuro Endocrinol Lett.* 25: 211-218.
- Rafferty MA, Limonik E. 2013. Is shale gas drilling an energy solution or public health crisis?. *Public Health Nurs.* 30: 454-462.
- Roberts RS, Julian JA, Muir DC, Shannon HS. 1989. A study of mortality in workers engaged in the mining, smelting, and refining of nickel. II: Mortality from cancer of the respiratory tract and kidney. *Toxicol Ind Health.* 5: 975-993.
- Salerno J. 2012. System lupus erythematosus and mercury toxicity. *Personalized Medicine Universe* 1:81-83.
- Saunders JE, Jastrzembski BG, Buckey JC, Enriquez D, MacKenzie TA, Karagas MR. 2013. Hearing loss and heavy metal toxicity in a Nicaraguan mining community: audiological results and case reports. *Audiol Neurootol.* 18: 101-113.
- Silbergeld EK, Silva IA, Nyland JF. 2005. Mercury and autoimmunity: implications for occupational and environmental health. *Toxicol Appl Pharmacol.* 207: 282-292.
- Silva Sieger FA, Díaz Silva GA, Ardila GP, García RG. Mercury chronic toxicity might be associated to some cases of hydrocephalus in adult humans? *Med. Hypotheses.* 79: 13-16.
- Sousa RN, Veiga MM. 2009. Using performance indicators to evaluate an environmental education program in artisanal gold mining communities in the Brazilian Amazon. *Ambio.* 38: 40-46.
- Suárez-Ruiz I, Flores D, Mendonça Filho JG, Hackley PC. 2012. Review and update of the applications of organic petrology: part 2, geological and multidisciplinary. *Inter J Coal Geol.* 98: 73-94.
- Tirado V, García MA, Moreno J, Galeano LM, Lopera F, Franco A. 2000. Neuropsychological disorders after occupational exposure to mercury vapors in El Bagre (Antioquia, Colombia). *Rev Neurol* 31: 712-716.
- Ulker OC, Ustundag A, Duydu Y, Yucesoy B, Karakaya A. 2008. Cytogenetic monitoring of coal workers and patients with coal workers' pneumoconiosis in Turkey. *Environ Mol Mutagen.* 49: 232-237.
- Xu X, Lou J, Wang S. 1997. Dynamic observations on pulmonary function in retired miners exposed to nickel dust. *Zhonghua Yu Fang Yi Xue Za Zhi.* 31: 278-280.
- Younger PL. 2004. Environmental impacts of coal mining and associated wastes: a geochemical perspective. In: Gieré, R., Stille, P. (Eds.), *Special Publications*, 236. *Energy, Waste and the Environment: A Geochemical Perspective*: Geological Society, London, pp. 169-209.
- Zurro AM. 2002. Claves diagnósticas en medicina de familia, atención al paciente con asma y EPOC en la consulta de familia. *Masson S.A.*
- Zolnikov TR. 2012. Limitations in small artisanal gold mining addressed by educational components paired with alternative mining methods. *Sci Total Environ.* 419: 1-6.
- Karkhanis Vinaya S, Joshi J M. 2013. Pneumoconioses. *Indian J Chest Dis Allied Sci.* 55: 25-34.