

Los riesgos de la contaminación minera y su impacto en los niños¹

Health risks caused by mining pollution and their impact on children

Marilyn Aparicio Effen²

Un estudio desarrollado en el ex Campamento Minero San José, actualmente uno de los barrios de la ciudad de Oruro, alerta sobre el impacto de la contaminación minera en la salud de los niños. En este artículo se presentan algunos de los resultados de la investigación que concluyó con una propuesta de intervención y política pública.

Palabras clave: neurotoxicología ambiental / contaminación minera / salud / contaminación del agua / epidemiología / toxicología / niños / metales pesados

A study carried out in the former mining community of San José, now a district of the city of Oruro, warns of the impact of mining pollution on children's health. This article presents some of the research results, concluding with a proposal for public policy and intervention.

Keywords: environmental neurotoxicology / mining pollution / health / water pollution / epidemiology / toxicology / children / heavy metals

La actividad minera en Bolivia ha aportado, a lo largo de su historia, importantes recursos monetarios a las arcas nacionales e internacionales, que han beneficiado, en muchos casos, a un reducido porcentaje de la población. Por otro lado, y en una de sus facetas más negativas, dejó a su paso secuelas de contaminación, con el consecuente deterioro humano y ambiental.

El auge de los metales, en diferentes periodos, movilizó a trabajadores de distintas zonas del país hacia áreas ricas en minerales, buscando mejores oportunidades de vida. Sin embargo, estos desplazamientos no siempre han estado acompañados de procesos estructurales de planificación minera, de asentamientos humanos y protección ambiental. Por el contrario, han comprometido la salud del propio trabajador, de su familia y de distintas comunidades, como resultado de la explotación minera con métodos rudimentarios alejados de la normativa ambiental, minera y sanitaria.

La actividad minera afecta cada año a la salud de un número significativo de personas, con ya clásicas patologías: tuberculosis, silicosis o una combinación de ambas. Paralelamente, la contaminación minera incrementa exponencialmente el número de personas en riesgo sanitario al comprometer la salud de los pobladores de comunidades situadas en las áreas de influencia de las zonas mineras o aguas abajo.

Las aguas procedentes de las áreas mineras muchas veces son utilizadas por comunidades que no están directamente involucradas en la actividad, tanto para el consumo humano como para las tareas agrícolas. El consumo de esta agua generará al inicio problemas subclínicos, luego anatomofuncionales localizados y posteriormente un deterioro sistémico, que dependerá del grado, tipo y tiempo de exposición al

contaminante. Por otra parte, el uso agrícola crea un nuevo y adicional elemento de riesgo, ya que los productos de áreas contaminadas por actividad minera, están ingresando al mercado de poblados o ciudades aledañas incrementando el número de la población expuesta. La contaminación minera no sólo afecta el agua, sino todos los sistemas ambientales: suelo, aire, flora y fauna.

La oscilación de los precios internacionales de los minerales, los procesos de ajuste económico/financiero, la debilidad de políticas de estado en éste y en otros sectores, asociado al crecimiento de las ciudades y a la ausencia de una adecuada planificación de asentamientos humanos, provocaron el abandono de algunos campamentos mineros (dejando una gran cantidad de residuos mineros), que posteriormente fueron habilitados como barrios de las ciudades de Oruro y Potosí. Estos “nuevos barrios”, asentados sobre áreas de riesgo por los contaminantes disueltos ya existentes, están sufriendo una nueva ola de contaminación, proveniente de la reapertura de las minas.

Uno de los elementos más importantes al estudiar el efecto de la contaminación minera en la salud humana es la relación entre el crecimiento y desarrollo neurológico y este tipo de contaminación. La neurotoxicología ambiental es una ciencia multidisciplinaria que estudia los compuestos químicos que se encuentran en el medio ambiente y los efectos dañinos que producen sobre el sistema nervioso de los seres humanos.

Anger y Johnson (1985) proponen una lista de 850 compuestos que pueden ser considerados neurotóxicos, sin embargo, esta clasificación resulta contradictoria en algunos casos, ya que incluye metales esenciales (que en dosis mínimas son nutrientes vitales) como el zinc, fuertemente relacionado con el desarrollo de la estatura de las personas. Por lo que se debe diferenciar entre metales esenciales y no esenciales; los primeros, en dosis estrictas son fundamentales para el funcionamiento y constitución anatómica del cuerpo humano, mientras que los otros, no son parte natural de las estructuras orgánicas, por ejemplo el arsénico, el plomo y el cadmio.

Durante la infancia y la niñez el proceso de mielinización³, la creación de conexiones sinápticas y la diferenciación neuronal, se halla en desarrollo, con el fin de responder a funciones neurológicas específicas y lograr la adquisición y consolidación de las funciones mentales superiores. Cualquier sustancia que interfiere en este proceso, alterará la fisiología o la morfología de las estructuras nerviosas, es el caso de los neurotóxicos que pueden producir daños irreversibles. En función al tipo de tóxico, la cantidad y el tiempo de exposición al mismo, el sujeto expuesto puede tener un desarrollo menor de sus capacidades mentales superiores en comparación a un individuo que no fue expuesto a los agentes neurotóxicos. La manifestación final del desarrollo anormal puede ser la muerte, malformaciones, retardo en el crecimiento o desordenes funcionales. Estos últimos, particularmente los desordenes de conducta, son más complicados de explicar, dada su multicausalidad.

En la Tabla 1 se detallan los diferentes tipos de alteraciones neurológicas y sistémicas que producen metales como el plomo, el cadmio y el arsénico.

Tabla 1
Alteraciones neurológicas y neuropsicológicas
producidas por el plomo, el arsénico y el cadmio

Plomo	Arsénico	Cadmio
Neuritis	Parestesias en guante y calcetín	Deformaciones óseas
Parálisis	Vasculitis	Osteoporosis
Reducción del coeficiente intelectual	Debilidad distal	Osteomalacia
Alteraciones en la memoria	Hiperqueratosis	Cáncer
Dificultad en la concentración	Tetraplejía	Hiperactividad
Trastorno de TDAH	Coficiente intelectual reducido	Disminución de la capacidad verbal
Irritabilidad	Alteración de la memoria	
Parestesia	Trastorno de TDAH	
Anorexia	Polineuritis sensitivo motora	
Cefalea	Cáncer	
Estreñimiento		
Espasmo muscular intestinal		
Debilidad muscular en antebrazo, pie y mano		
Letargo		
Vómito y/o pérdida de apetito		
Reducción de la conciencia		
Encefalopatía		
Atrofia óptica		
Reducción de la conducción nerviosa		
Disminución auditiva		
Polineuropatía motora (parálisis radial)		

Elaboración propia en base a datos de la literatura toxicológica (Moreno Grau, 2003).

Por ejemplo, se ha demostrado una correlación significativa en niños con niveles elevados de cadmio y plomo en cabello, con hiperactividad, disminución del desarrollo verbal y menor coeficiente de inteligencia (Pihl y Parkes, 1977; Thatcher *et al.*, 1982). La intoxicación por cadmio provoca deformaciones óseas, osteoporosis, osteomalacia y casos de cáncer. Un estudio prospectivo analizó las concentraciones de plomo y cadmio en cabellos de 26 recién nacidos y sus madres (Bonithon-Kopp *et al.*, 1986); seis años más tarde, los niños fueron sometidos a las pruebas de McCarthy Scales of Children Abilities determinando que el nivel de cadmio en los niños estaba relacionado con una disminución del rendimiento y capacidad perceptiva y motora; adicionalmente altos niveles de este metal en el cabello de las madres estaba relacionado con pobres rendimientos de las funciones cognitivas, perceptivas, cuantitativas y motoras.

La intoxicación por arsénico (Tabla 1) provoca polineuritis⁴ sensitiva y motora que se manifiesta en forma de sensación de “acorchamiento” y parestesias distribuidas en “guante y calcetín”, debilidad distal, tetraplejía y vasculitis, hiperqueratosis. También puede producir alteración de la memoria y reducción del coeficiente intelectual.

De todos los grupos poblacionales expuestos a la contaminación de sustancias o compuestos neurotóxicos, los niños son los más vulnerables, dado que estas sustancias inciden fuertemente en el sistema nervioso en desarrollo de embriones, fetos y niños. El riesgo se incrementa cuando las madres están expuestas a la contaminación minera, o cuando los niños comienzan la dentición, pues tienen la necesidad de llevarse objetos a la boca y juegan en el piso; en su afán de conocimiento y exploración, pueden coleccionar materiales altamente tóxicos. A esto se suma el caso de los niños hijos de trabajadores mineros, que pueden entrar en contacto con tóxicos llevados a casa por sus padres en la ropa o instrumentos contaminados.

Finalmente, uno de los peligros más grandes es el efecto acumulativo de las sustancias neurotóxicas. Un niño en plena etapa de crecimiento, a sus 6 u 8 años, probablemente ya habrá acumulado contaminantes neurotóxicos desde el vientre materno, a los que se sumará una exposición crónica en su casa y en su escuela, para después probablemente consumir alimentos y agua contaminados.

LA INVESTIGACIÓN: ENFOQUE Y UBICACIÓN

La investigación “Determinación de los efectos neurotóxicos de los metales pesados en niños de 6 a 8 años, producto de la contaminación ambiental y bioacumulación en la zona Ex Campamento San José de la ciudad de Oruro” se desarrolló en el marco de la convocatoria sobre Contaminación Minera en los Departamentos de Oruro y Potosí, promovida por el Programa de Investigación Estratégica en Bolivia (PIEB). El área de control del estudio estuvo en la ciudad de Copacabana, La Paz. El equipo de investigación trabajó sus análisis en el Ex Campamento San José, ahora considerado un barrio de la ciudad de Oruro.

La convocatoria incorporó tres fases de trabajo: investigación, difusión de resultados y elaboración de una propuesta y estrategia de intervención o generación de políticas. El proyecto, para tener un accionar adecuado, desarrolló tempranamente convenios de trabajo con el Servicio Departamental de Salud (SEDES-Oruro), la Facultad de Medicina de la Universidad Técnica de Oruro, el Hospital Barrios Mineros, la Asociación de Municipios de Oruro (AMDEOR), el Regimiento Camacho, la Comunidad Educativa de la Escuela Guido Villagomes -localizada en el área de estudio- y la Escuela 6 de Junio de la ciudad de Copacabana. De igual manera, se informó y contó con el apoyo del Viceministerio de Ciencia y Tecnología y del Ministerio de Salud y Deportes.

La ciudad de Oruro se encuentra en el departamento del mismo nombre y tiene una altura promedio de 3700 m.s.n.m. La ciudad se proyecta de norte a sur, sobre un plano inclinado hacia el este, cercado por los cerros San Felipe, Pie de Gallo, San Pedro, San Cristóbal, Tetilla, Santa Bárbara, Cerrato; y hacia el sur, el lago Uru Uru. El clima es frío, con una temperatura media anual de 9 grados y temperatura máxima extrema de 20 grados. La ciudad registra fuertes vientos de dirección oeste a suroeste y de sur a sureste.

Oruro tiene una marcada dependencia económica de la minería⁵, favorecida en la actualidad por un repunte del precio de los metales a nivel internacional y por la riqueza en vetas polimetálicas. Oruro refina metales en la Empresa Metalúrgica de Vinto, ubicada a 7 kilómetros de la ciudad.

La mina San José comenzó su actividad extractiva hace más de dos siglos, con la explotación de plata, plomo y estaño⁶, actividad que continúa en la actualidad con nuevos productos como el arsénico, el cadmio, el antimonio, el cobre, el zinc, el bismuto y otros. Los depósitos son trabajados especialmente en busca de estaño o plata, aunque unos cuantos contienen cantidades explotables de tungsteno, bismuto, plomo, cadmio e indio. El depósito San José está clasificado como depósito de vetas polimetálicas bolivianas, que son grupos de vetas con enjambres asociados de vetillas, que tienen un 90% de su volumen en minerales sulfurosos, dominados por pirita (FeS_2), marcasita ($\text{FeS}_2\text{-x}$) y pirrotita (FeS o $\text{Ca.Fe}_7\text{S}_8$ o $\text{Ca.Fe}_9\text{S}_{10}$).

El Ex Campamento San José, que en la actualidad es un barrio de la ciudad de Oruro, ha vuelto a ser un campamento minero tras el asentamiento de cooperativas que nuevamente están explotando minerales. La explotación minera, con sus productos y desechos es parte de la vida diaria del área, por lo que los desechos mineros (ya existentes previamente e incrementados con la actividad reciente), el agua ácida (Fotografía 1) son fácilmente visibles en el “barrio”, donde se observa una gran cantidad de niños (Fotografía 2), madres embarazadas, ancianos y trabajadores. Las nuevas bocaminas son una más de las “puertas de calle” del barrio en crecimiento (Fotografía 3), sus calles son el paso obligado día a día del tránsito de metales y sus sitios de descanso son espacios para “orear” metales (Fotografía 4). Las

precarias viviendas⁷ están situadas en el propio campamento minero, en el área de grandes depósitos de desmontes, colas de molienda y desecho de minerales (Fotografía 5), y agua de copajira (Fotografía 6) que cruza el barrio y llega a edificios clave como la iglesia y otros.

La zona cuenta parcialmente con alcantarillado, por lo que las familias deben utilizar el desmonte de colas como baño público. Además, al no ser un barrio planificado, la presencia de polvo y tierra en sus calles, expone a la población a la acción mecánica del viento que transporta partículas metálicas que contaminan el interior de las casas y las aulas de la escuela Guido Villagomes, pero también el agua, los alimentos y al aire de consumo humano.

El perfil epidemiológico de la zona muestra silicosis, accidentes laborales causados por la explosión de dinamita o enfermedades relacionadas con la pobreza y el hacinamiento como la desnutrición, problemas diarreicos agudos, infecciones respiratorias agudas, neumonías, tuberculosis, etc.

La población del barrio Ex Campamento Minero San José es local o son migrantes procedentes de áreas rurales de Potosí y Cochabamba, presenta altos índices de pobreza y hacinamiento, por lo que si no migran buscando otras fuentes de trabajo, se dedican a la minería.

Fotografía 1



Aguas ácidas concentradas cerca de áreas pobladas.

Fotografía 2



Niños expuestos a la contaminación.

Fotografía 3



La bocamina, muy cerca del barrio en crecimiento.

Fotografía 4



Los vecinos "orean" los metales en las puertas de sus domicilios.

Fotografía 5



Los desmontes y el agua de copajiza son parte del paisaje del barrio.

Fotografía 6



Aguas ácidas atraviesan el barrio.

METODOLOGÍA Y MUESTRA

El proyecto aplicó una estrategia de investigación sanitaria integral, con una metodología multidisciplinaria, comparativa entre casos y controles, en el marco de la ecosalud⁸.

El enfoque se caracterizó por ser cuantitativo no experimental⁹, como plan o estrategia para obtener la información requerida, además de combinar distintos tipos de diseño transversal o transeccional¹⁰ (exploratorio, descriptivo y correlacional-causal) de acuerdo a las subfases de la fase Investigación del proyecto.

El proyecto también desarrolló un enfoque cualitativo para la investigación del comportamiento social, mediante las encuestas de conocimientos actitudes y prácticas y para la evaluación de determinados componentes neuropsicológicos.

Con el fin de analizar “el efecto y la causa”, se seleccionó un procedimiento epidemiológico retrospectivo o *Estudio de casos y controles* para comparar un grupo de niños supuestamente afectados (Casos) y otro grupo de niños supuestamente no afectados (Controles), asociado a la determinación de la presencia o ausencia del factor de riesgo. Este tipo de estudio es útil para estudiar enfermedades crónicas, con periodos de latencia e incubación prolongada, o de enfermedades raras de escasa incidencia y prevalencia.

Para definir la unidad de análisis, sobre la que se tenía que recolectar los datos y en función del planteamiento del problema, el alcance del estudio y el tipo de investigación (Casos y Controles), seleccionamos un tipo de muestra no probabilística o dirigida.

Asumimos también que como no era el fin de la investigación la extrapolación o generalización de los resultados hacia la población general -dadas las limitaciones de este tipo de muestra¹¹- nos apoyaríamos en su clara ventaja cuantitativa¹², lo que permitiría una cuidadosa y controlada elección de sujetos, que responderían mejor a la problemática minera y al enfoque de evaluación integral o de ecosalud. Además, desde el enfoque cualitativo, al no interesar tanto la generalización de los resultados, potencialmente nos permitiría obtener una gran riqueza de información en la recolección y análisis de los datos, que coadyuvaría a la identificación de los “Casos” -personas, contextos, situaciones- que interesaban a la investigación.

Para este estudio tomamos en cuenta dos poblaciones, la primera con niños de 6 a 8 años de la escuela Guido Villagómes ubicada en la zona Ex Campamento Minero San José de la ciudad de Oruro (centro minero), y la segunda con niños de la Unidad Educativa Central 6 de Junio del municipio de Copacabana, perteneciente a la provincia Manco Kapac del departamento de La Paz.

El tamaño de la muestra fue de 200 (n=200) niños de 6 a 8 años de la Escuela Guido Villagomes, evaluados desde el punto de vista neurológico, neuropsicológico y nutricional; previamente sostuvimos reuniones informativas con los padres de familia de los cursos primero, segundo, tercero, cuarto de primaria y algunos de kínder. Todos los niños fueron evaluados luego de contar con la firma del “consentimiento informado” por parte de los padres o apoderados, y la autorización de la toma de muestra de cabellos.

Se realizó un pareamiento por frecuencia de edades (6 a 8 años), grupo étnico, sexo, región donde viven unos y otros, seleccionándose a 106 (n=106) niños de la ciudad de Copacabana.

COMPONENTES

En la subfase descriptiva, se aplicaron instrumentos validados, con el fin de indagar la incidencia, modalidades o niveles existentes en la muestra y describir cada una de las variables consideradas por los distintos componentes del proyecto.

En neurología, se evaluaron variables pertenecientes a los sistemas craneal, sensitivo, motor y cerebeloso, aplicándose un formulario de historia clínica neurológica.

En neuropsicología, se realizó la evaluación del coeficiente intelectual, aplicándose los test de la batería Raven, además se evaluaron las funciones mentales superiores, aplicándose el test de Luria. Todas estas pruebas fueron validadas para el contexto nacional y local.

En nutrición, se realizaron evaluaciones antropométricas considerándose variables independientes -sexo y edad- y variables dependientes -peso y talla-. El criterio de calificación utilizado fue el Índice de Masa Corporal (IMC) según edad y sexo, tablas recomendadas por la Unidad de Nutrición del Ministerio de Salud en el Carnet de Salud Escolar. Esta escala clasifica a niños de 6 a 18 años en: normal, normal superior, delgado, enflaquecido y obeso. Los niños fueron pesados -con la menor cantidad de ropa posible-, utilizando una balanza de pie y tallados con un tallímetro.

El componente ecosistémico, evaluó la flora y la vegetación. En fauna, se realizó un registro cualitativo de las especies de aves y mamíferos a través de recorridos de observación. Procedimos también a la colecta de ejemplares de anfibios y reptiles a través del método de colecta manual. Se incluyó a animales domésticos (ratones, ovejas, conejos y gallinas) como posible fuente de contaminación por bioacumulación.

El componente laboratorial obtuvo muestras de cabellos con el fin de demostrar si existía contaminación humana en el grupo poblacional (niños de 6 a 8 años). Dado los costos de las evaluaciones laboratoriales sólo consideramos tres metales para la evaluación: plomo, arsénico y cadmio; para esta selección tomamos en cuenta la historia de la mina, la producción actual y el potencial neurotóxico y sanitario de estos metales. Las muestras fueron remitidas al laboratorio de Calidad Ambiental del Instituto de Ecología de la Universidad Mayor de San Andrés y a la verificadora S.G.S de la ciudad de El Alto. Se midió plomo, arsénico y cadmio en suelos, agua, fauna silvestre y doméstica del área, flora y vegetación. Se aplicó el sistema de anillos concéntricos en relación a la fuente emisora de contaminación (Gráfico 1).

El componente de conocimientos, actitudes y prácticas, aplicó un diseño cualicuantitativo y un instrumento, realizando entrevistas con informantes clave, grupos focales, observaciones in situ, evaluaciones rápidas participativas, etc.

Una vez que se inició el trabajo de campo, los datos observacionales mostraron una gran cantidad de material particulado, sujeto a los fuertes vientos imperantes en el área de estudio. Consideramos importante incluir la evaluación de la calidad del aire en el estudio. Se determinó efectuar el muestreo de material particulado con diámetro aerodinámico de diez micrómetros (PM10) en todas las muestras, ya que por sus características físicas, este contaminante es relevante tanto por su potencial impacto sobre la salud como para el entorno ambiental. En el aire, se evaluó plomo, arsénico, cadmio y mercurio.

En la subfase de recolección de las correlaciones-causales y con el objetivo de describir relaciones, formulamos planteamientos e hipótesis causales, y realizamos la búsqueda de correlaciones o relaciones explicativas con los resultados de la toma de muestra de cabellos, vegetación, suelos, aire, agua y fauna.

Como apoyo a la evaluación toxicológica, realizamos un levantamiento cartográfico de la zona de estudio y se georreferenció los focos de contaminación y la distancia de las casas donde se registraron Casos, para establecer la cercanía al foco contaminante. Utilizamos imágenes satelitales provenientes del Google Earth, para analizar el área del proyecto dado que los sensores remotos pueden brindar información valiosa sobre la respuesta de los ecosistemas, la contaminación y el comportamiento de la mancha urbana y de la población (Fotografía 7, Gráfico 1).

RESULTADOS

En el marco de la investigación, se evaluaron 305 niños y niñas (199 de la ciudad de la zona Ex Campamento San José de la Ciudad de Oruro y 106 de Copacabana)¹³.

Los datos obtenidos por los componentes de los 305 niños evaluados fueron digitalizados y vaciados en una base de datos. Las distintas variables fueron parametrizadas, para establecer los Casos y los Controles.

En función de los resultados obtenidos por los distintos componentes del proyecto, y considerando la escala de parametrización de los sujetos de estudio (valores 1 como normal y 2 para niños situados en el límite inferior de normalidad, mientras que los valores 3 y 4 correspondían a niños con déficit neurológico estructural o neuropsicológico funcional), asociado a alteraciones nutricionales que potencialmente podrían intensificar el efecto tóxico de los contaminantes metálicos, se identificó 50 Casos (25,1% de n) en la ciudad de Oruro que correspondían a los grupos con valores 3 y 4 que señalaban afectación, y se seleccionaron de los 106 niños evaluados en Copacabana 50 Controles pareados¹⁴.

Gráfico 1 Barrios en la zona de influencia de las minas San José y La Colorada (Oruro 2009)

Localización de toma de muestras de suelo, material particulado y agua
Localización de casos y focos de contaminación



Fuente: Proyecto Neurotóxicos con aportes de Jaime García y Pablo Aldazare.

Fotografía 7



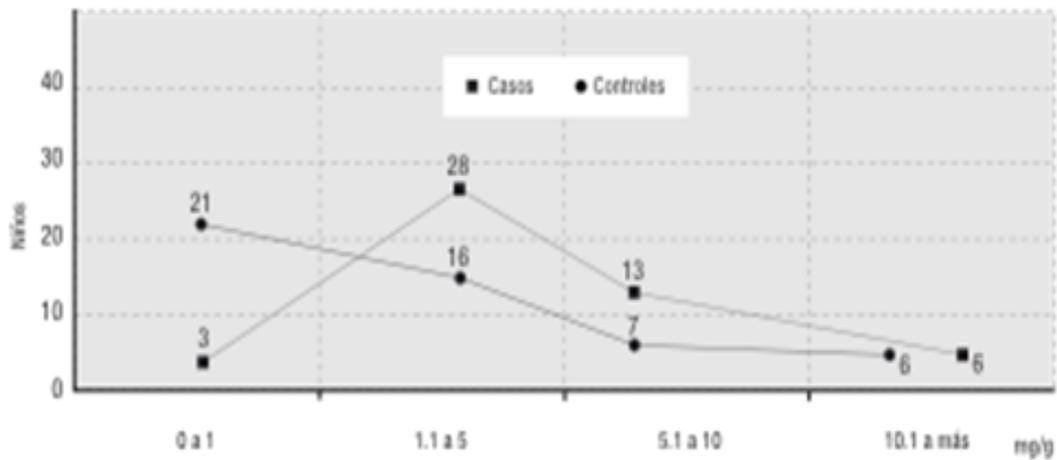
Para analizar si existía contaminación humana por elementos metálicos, que estarían produciendo afectación crónica, medimos la presencia de metales en muestras de cabellos. En particular, se buscó efectos de metales reconocidos en la literatura como importantes agentes neurotóxicos: el plomo, el arsénico y, adicionalmente, el cadmio, ya conocidos como agentes de riesgo para la ciudad de Oruro.

41 casos presentaron valores entre 1,1 a 10 ug/g de plomo en cabellos, mientras que 37 niños de los Controles presentaron valores entre 0 a 5 ug/g de Pb en cabellos (Gráfico 2). Por lo expuesto, la concentración de plomo es el doble en los Casos que en los Controles. El resto de los niños mostraron valores no cuantificables o mayores a 10ug/g. Estos datos alertan sobre contaminación crónica por los metales mencionados, ya que los cabellos registran los niveles tóxicos “agudos” de los metales que se van sucediendo en la sangre circulante.

En base a los resultados de la investigación, los niños de la zona Ex Campamento San José de la ciudad de Oruro están contaminados de manera crónica por plomo y arsénico, a lo que se suma el efecto del cadmio. Dado que estos metales no son constituyentes normales de la estructura del cabello humano, los estarían predisponiendo para presentar daños neurológicos, neuropsicológicos o de otro tipo.

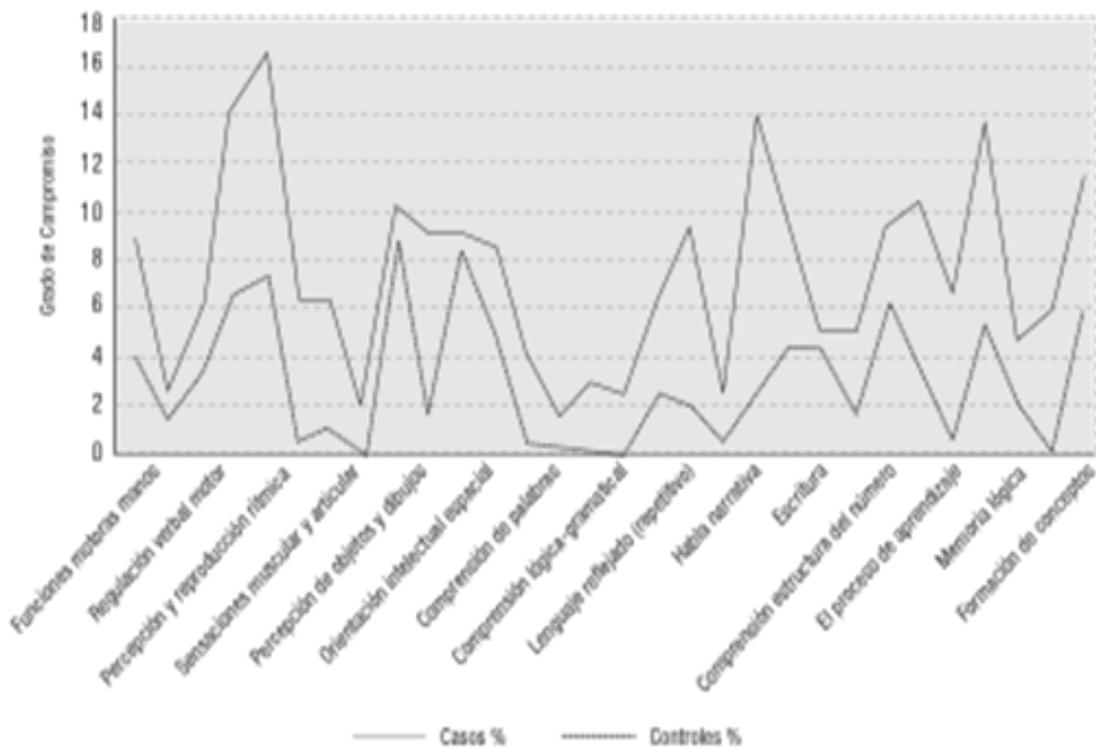
Los Controles presentaron niveles detectables de plomo. Considerando que Copacabana no es un área minera, esto podría explicarse por la utilización tradicional de peroles y otros instrumentos hechos de plomo para la producción de pasankalla¹⁵. Sin embargo, debe realizarse una investigación para definir la fuente exacta de contaminación en estos niños.

Gráfico 2
Plomo en ug/g en muestras de cabellos en 50 Casos y 50 Controles pareados



Fuente: Proyecto Neurotóxicos, Elaboración propia

Gráfico 3
Compromiso de las funciones mentales superiores en Casos y Controles



Fuente: Proyecto Neurotóxicos con aportes de Luis Ramos.

Las evaluaciones médicas neurológicas, realizadas a Casos y Controles de ambas poblaciones, determinaron que el nervio óptico es el par craneal más afectado en los Casos, demostrando daño estructural, en comparación con los Controles, con una diferencia significativa ($t=4,413; p=0.00$) con un nivel de significancia del 95%; seguido de efectos en el primer par craneal o nervio olfatorio, compatible con daños generados por cadmio.

Las evaluaciones neuropsicológicas a estos mismos niños, considerando los aspectos cognitivo afectivo-

emocional y comportamental, con el objetivo de detectar posibles responsabilidades de la contaminación minera en el deterioro neuropsicológico, mostraron una importante diferencia entre Casos y Controles, al aplicarse los test psicológicos de Raven (para evaluar el Coeficiente Intelectual) y Luria (para evaluar las Funciones Mentales Superiores).

La prueba neuropsicológica de Raven de los Casos y Controles mostró diferencias significativas: los menores rendimientos fueron claramente observados en los Casos ($t=4,373$; $p=0,00$) con 95% de confianza. La prueba neuropsicológica de Luria mostró menores rendimientos en los Casos ($t=7,551$; $p=0,00$) con 95% de confianza (Gráfico 3).

De manera individual se evidenció que las funciones de percepción y reproducción de relaciones tonales, percepción y reproducción de estructuras rítmicas, sensaciones cutáneas, orientación espacial, comprensión de palabras, la función nominativa del habla, análisis y síntesis fonéticos de palabras, retención y evocación, memoria lógica y formación de conceptos, presentan diferencias significativas entre los Casos y Controles.

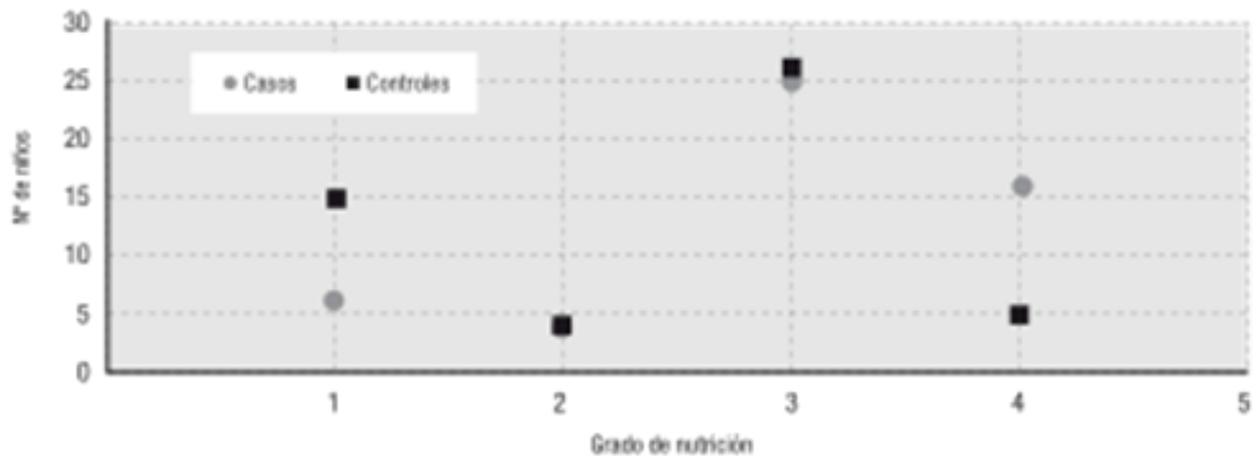
Para analizar estos resultados revisaremos el efecto de los distintos metales en las funciones mentales superiores y en el coeficiente intelectual:

- El plomo produce: a) déficit de atención, alteraciones de las percepciones tonales; b) problemas de memoria (corto y largo plazo); y c) disminución del rendimiento cognitivo, compatibles con exposición crónica a bajas dosis de metales, que afectan el lenguaje, la atención y la memoria.
- La exposición al arsénico produce: a) trastornos de hiperactividad; b) alteraciones de la capacidad verbal; y c) disminución del coeficiente intelectual.
- La exposición al cadmio produce: a) alteraciones de memoria; y b) reducción del CI.

Si consideramos los hallazgos en los niños y los efectos del Pb, As y Cd sobre el Sistema Nervioso Infantil, observamos que los mismos son ampliamente compatibles, validados por pruebas estadísticas que demuestran su relación.

El nivel nutricional, evaluado de acuerdo a escalas del Ministerio de Salud y Deportes, para niños mayores de 5 años, mostró que los niños del área de estudio (Casos) tienen una menor distribución en la categoría 1 (normal), una distribución similar para las categorías 2 y 3 (normal superior y delgados), sin embargo la categoría 4 (enflaquecidos) está predominantemente ocupada por los Casos de la ciudad de Oruro, lo que representa un elemento de riesgo para el potenciamiento de la contaminación metálica (Gráfico 4).

Gráfico 4
Nivel nutricional en 50 Casos y 50 Controles



Fuente: Proyecto Neurotóxicos con aportes de Soledad Juimes

La desnutrición favorece la absorción de compuestos metálicos, por la apetencia del cuerpo en crecimiento por sustancias que le ayuden a desarrollar sus estructuras y capacidades. Por otra parte, los metales desplazan a los metales esenciales y a los nutrientes favoreciendo la desnutrición. Así se crea un círculo vicioso de contaminación metálica seguida de desnutrición y viceversa. Si consideramos que la desnutrición favorece la presentación de enfermedades al reducir la capacidad de las respuestas inmunológicas, se incrementa, por lo tanto, la morbilidad e incluso la mortalidad de la población expuesta. Si analizamos la situación descrita en el contexto de una población con elevados niveles de pobreza, déficit de ingresos, limitaciones en educación e higiene, el problema se hace cada vez más grave, en términos sanitarios y sociales.

Para analizar los valores encontrados de cadmio en material particulado monitoreado en la zona del proyecto, nos detendremos en los valores de referencia de la Tabla 2.

Los resultados de la evaluación de la calidad de aire muestran que la contaminación por metales pesados presenta niveles importantes de cadmio en el material particulado de ppm 10, disuelto en el aire, que al ser inspirado por los niños y adultos de la zona de estudio estaría produciendo efectos adversos sobre la salud (tabla3). Los valores del cadmio disuelto en el aire, superan en 250 y 175% el valor del límite máximo permisible exigido por la Ley Boliviana de Medio Ambiente, y en 500 y 350% el valor guía de la Organización Mundial de la Salud.

Los resultados laboratoriales utilizados para detectar si existía contaminación metálica en suelos y agua, en distintas áreas de la zona Ex Campamento San José, incluidos el piso de la escuela, los desmontes de colas, viviendas e instituciones cercanas a la mina y otras, evidenciaron altos niveles de contaminación en agua y suelos por plomo, arsénico y cadmio.

Se evaluó también el estado de conservación¹⁶ y contaminación del ecosistema tanto de la fauna como de la flora (Sarmiento *et al.*, 1996) y el grado de bioacumulación de los compuestos metálicos como factores de riesgo, para el desarrollo neurológico de los niños de la zona San José de Oruro debido a la cercanía de las viviendas, escuelas y mercados a la zona minera. En los resultados, se observó que la fauna, en la zona de estudio, está disminuida en especies e individuos en relación a áreas con las mismas condiciones ecológicas en el altiplano central de Bolivia, además que existen especies exóticas invasoras

como el roedor *Mus musculus* y la liebre europea *Lepus capensis europaeus*.

Tabla 2
Valores de referencia para el cadmio en el aire

Número de muestra	Concentración estándar	Limite máximo permisible		Observaciones
	Cd std	Ley 1333	OMS	
	ng/m ³	ng/m ³		
1	100	40	20	Limite de detección 10ng/m ³ . efectuado por SGS Bolivia S.A.
2	<10	40	20	Limite de detección 10ng/m ³ . efectuado por SGS Bolivia S.A.
3	<10	40	20	Limite de detección 10ng/m ³ . efectuado por SGS Bolivia S.A.
4	<10	40	20	Limite de detección 10ng/m ³ . efectuado por SGS Bolivia S.A.
5	<10	40	20	Limite de detección 10ng/m ³ . efectuado por SGS Bolivia S.A.
6	70	40	20	Limite de detección 10ng/m ³ . efectuado por SGS Bolivia S.A.
7	<10	40	20	Limite de detección 10ng/m ³ . efectuado por SGS Bolivia S.A.

Fuente: Proyecto Neurotóxicos con aportes del Ing. Pablo Aldunate.

Tabla 3
Metales disueltos en material particulado ppm10

Número de muestra	Concentración estándar				
	PM10 std	Pd std	As std	Cd std	Hg std
	µg/m ³	µg/m ³	ng/m ³	ng/m ³	µg/m ³
1	53,7	< 0,01	< 10	100	< 0,01
2	52,2	< 0,01	< 10	< 10	< 0,01
3	22,8	< 0,01	< 10	< 10	< 0,01
4	34,9	< 0,01	< 10	< 10	< 0,01
5	60,4	< 0,01	< 10	10	< 0,01
6	32,9	< 0,01	< 10	70	< 0,01
7	27,5	< 0,01	< 10	< 10	< 0,01

■ Concentraciones que superan los valores guía o los límites máximos permisibles

Fuente: Proyecto Neurotóxicos con aportes de Pablo Aldunate.

El análisis de metales (Pb, As y Cd) en fauna silvestre y doméstica presentó niveles elevados de metales en el cuerpo de estos animales, considerado un indicador de contaminación crónica (Tabla 4). Los animales domésticos para consumo local, como gallinas y cuis, también tienen altos niveles de Pb y As, que al ser consumidos serían un importante indicador de bioacumulación (valores que oscilan entre 1,1 a 8,4 µg/g) lo que incrementa potencialmente el efecto sobre los niños y adultos.

Existen pequeños cultivos de papa, cebada y trigo, peri domiciliarios, así como de animales para consumo

como gallinas y conejos cuis, en los domicilios del barrio San José, lo que es indicador de consumo local.

Tabla 4
Contaminación metálica en animales domésticos y de consumo

Muestra	Plomo (Pb) ug/g	Arsénico (As) ug/g	Cadmio (Cd) ug/g
Pelo de perro	10	6,6	0,018
Pelo de gato	9,3	3,1	0
Pelo de gato	7,7	4	0
Pelo de gato	4,7	2,6	0
Pluma de galina	8,4	5,8	0,0025
Pluma de galina	4,9	0,57	0
Pelo de cuis	1,1	2,4	0

Fuente: Proyecto Neurotóxicos con aportes de Jaime Aparicio y Jaime Chinchero.

En flora, también existe una reducción de especies y cobertura vegetal que anuncia una erosión de los suelos. Se ha registrado la especie *Viguiera procumbens*, tolerante a la contaminación e indicadora de suelos contaminados, y no existen plantas y animales superiores en las colas y desmontes producidos por la actividad minera en la zona.

El proyecto determinó el tipo, tiempo y nivel de exposición a la contaminación minera a la que están sometidos los niños de 6 a 8 años del área seleccionada, utilizando anillos concéntricos a partir de la fuente emisora. Los niños identificados como Casos, en un 85% nacieron en Oruro. Las familias del 49% de los Casos viven más de 10 años en la zona mientras que 13% vive en la zona entre 7 a 8 años y otro 13% vive 5 a 6 años. Se encontró que habría un mínimo de exposición de cinco años para que los efectos neurotóxicos se hagan presentes, de acuerdo a los resultados obtenidos en la zona.

Para analizar la cercanía al foco emisor de contaminación, que en el área de estudio es representado por la mina San José, la mina Colorada y los desmontes ubicados en la zona, identificamos las viviendas de los niños(as) y las clasificamos considerando la distancia a los focos de contaminación de acuerdo a los siguientes valores: 1 muy lejos, 2 lejos, 3 cerca y 4 muy cerca, que equivalían a las distintas distancias en metros. Se georreferenciaron las vías de exposición así como las casas de los Casos donde evidenciamos neurotoxicidad en los niños, para realizar una evaluación del riesgo toxicológico. Y se llegó a la conclusión que a mayor cercanía de las casas de los niños a los focos de contaminación, mayor es el riesgo de neurotoxicidad, ya que en su mayoría los Casos viven a menos de 100 metros de la bocamina y del desmonte de colas.

En el ámbito de la comunicación, se realizó un diagnóstico sobre conocimientos, actitudes y prácticas (CAP's) de la población (padres de familia y vecinos de la zona minera), sobre los impactos que tiene la actividad minera (realizada en condiciones de riesgo) sobre su salud y sobre el medio ambiente, así como sobre las medidas de prevención. Este diagnóstico fue realizado utilizando técnicas cualitativas (grupos focales, entrevistas en profundidad y observación directa) y cuantitativas (encuesta).

Los resultados de las encuestas CAPs son los siguientes:

- El 74% de la población tiene animales en la casa.
- El 70% refiere tener conocimientos de lo que es la contaminación ambiental.
- La mayoría considera que el medio de ingreso de los metales al organismo es a través del aire respirado.
- Señalan que el sistema más afectado es el nervioso, seguido del digestivo.
- Consideran que la contaminación es un tema muy preocupante, y desean poder solucionar el problema.
- Consideran que es necesario no dejar que los niños jueguen en lugares llenos de tierra.
- El 25,8% considera que es necesario implementar medidas de seguridad en la zona.
- Los idiomas más utilizados son el castellano y el quechua.
- La mayoría tiene sus casas ubicadas o viven entre 100 y 1000 metros de distancia de la bocamina, y el 18% vive a menos de 100 metros de la misma.
- Las casas de la mayoría de los entrevistados tienen el piso de cemento o de tierra, lo que provoca la acumulación de polvo.
- Los niños juegan en el patio de su casa, en la calle o en la cancha.
- 72% no llevó material de plomo u otro mineral a su casa, el 28% sí lo hizo en alguna oportunidad.
- Sólo el 55,9% de la población entrevistada refiere que tiene alcantarillado.

El análisis de los conocimientos, actitudes y prácticas muestra que muchas de las personas del barrio conocen los riesgos que están corriendo, pero tratan de abstraerse del problema, ya que consideran otros problemas como más agudos o en la esperanza que la contaminación no los afecte a ellos o a sus familias.

DIFUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Como parte de la difusión de la investigación, se realizaron festivales, talleres informativos para la población en general, de presentación del perfil del proyecto al SEDES Oruro, información al Viceministerio de Ciencia y Tecnología, al Ministerio de Salud y Deportes y a la comunidad educativa de las escuelas participantes. También se trabajó con la Junta de Vecinos, se visitó a las cooperativas, se difundió el proyecto y los resultados por medios como la radio y la televisión; los resultados de la investigación y la propuesta de intervención fueron presentados en instalaciones del Senado Nacional.

Se elaboraron trípticos, afiches, cuñas radiales y un video para crear conciencia sobre el tema, que fueron

distribuidos a la población del barrio Ex Campamento San José y fueron difundidos por televisión, Radio Pío XII y por medio de la página web del proyecto, que está alojada en el Servicio Informativo del PIEB (www.pieb.com.bo).

Se entregó los resultados de la evaluación de cada niño a su familia, trípticos y afiches, que especificaban medidas de prevención, acompañados de un pequeño presente (un cuento, lápices o crayones) y un refrigerio, y se dejó en la escuela una copia del mismo. Se presentó los resultados y se analizó opciones de solución con el plantel docente de la escuela Guido Villagomes, así como en la Prefectura de Oruro que contó con la valiosa participación del Servicio Departamental de Salud en sus direcciones de Planificación y Salud Ambiental.

PEOPUESTA DE ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN Y POLÍTICA

La investigación concluyó con el diseño de una estrategia de intervención y política de acción basada en cuatro acciones: Socializar y difundir los resultados de la investigación y la propuesta de estrategia y política departamental; Elaborar una propuesta de investigación de mayor magnitud que evalúe otras áreas clave del país; Construir programas de educación sanitaria y actividades de cabildeo ante las autoridades departamentales, que generen beneficios para la población y políticas locales que tiendan a producir estrategias de prevención de la contaminación minera; Realizar recomendaciones para recuperar el ecosistema del área del proyecto.

La estrategia de intervención y generación de propuestas para las políticas públicas de distintos niveles administrativos, ejercerá una importante influencia en el nivel local, ya que al comprometer voluntades y acciones de instituciones de diferentes sectores y la participación de la comunidad, se creará las bases para una búsqueda común de soluciones.

La propuesta también señala medidas neurológicas, neuropsicologías, de desintoxicación y nutricionales de carácter individual dependiendo del grado de afectación y niveles de contaminación polimetálica. Sin embargo, todas las medidas no llegarán a ser exitosas si es que la contaminación, y particularmente la exposición a los contaminantes metálicos, persiste en el barrio estudiado.

CONCLUSIONES

La investigación ha verificado su hipótesis: Existe evidencia de neurotoxicidad en niños de 6 a 8 años que viven en la zona San José de Oruro, como producto de la contaminación minera, frente a la ausencia de efectos neurotóxicos en niños de 6 a 8 años de la ciudad de Copacabana del departamento de La Paz.

Se pudo determinar que el área de estudio está altamente contaminada (aire, agua, suelos, flora y fauna tanto doméstica como silvestre), el ecosistema muy deteriorado y que existe evidencia de daño estructural (segundo y primer par craneal). Los principales efectos neurotóxicos de la exposición infantil a niveles incrementados de Pb son: déficit de atención, problemas de memoria tanto a corto como a largo plazo, disminución del rendimiento cognitivo; compatibles con exposición crónica a bajas dosis de metales, que afectan el lenguaje, la atención y la memoria; la exposición al Cd produce trastornos de hiperactividad, alteraciones de la capacidad verbal y disminución del coeficiente intelectual.

Por tanto, los efectos del Pb, As, y Cd sobre el Sistema Nervioso Central infantil son compatibles con los resultados encontrados. Si bien, no se han descrito efectos neurotóxicos específicos del cadmio, en los

estudios realizados previamente, no se han encontrado niveles tan importantes de este metal en las áreas estudiadas. Sin embargo, se debe considerar la multicausalidad de los efectos sanitarios y la exposición polimetálica de los niños del área de estudio.

Por lo expuesto, debemos elegir entre continuar generando ingresos contaminando y deteriorando nuestra salud (la que podría consumir todos los recursos ganados previamente) o generar excedentes precautelando la salud humana, animal y ambiental, que aseguraría la sostenibilidad de los ingresos tanto a nivel individual, local y nacional.

BIBLIOGRAFÍA

Bonithon-Kopp, C.; Huel G, Moreau, T.; Wendling, R.

1986 "Prenatal Exposure to Lead and Cadmium and Psychomotor Development of the Child at 6 Years". En: *Neurobehav Toxicol Teratol*.

Díaz Barriga, F. y otros

1997 "Evaluación preliminar del riesgo en salud en la zona metalúrgica de Vinto – Oruro, Bolivia". Oruro.

Keutsch, F. y Brodtkorb, M.K.

2007 "Metalliferous paragenesis of the San José mine, Oruro, Bolivia". En: *Journal of South American Earth Sciences*.

Moreno Grau, D.

2003 *Toxicología Ambiental*. España: Edigrafos S.A.

Multiservicios Paraba Azul Srl.

2004 Informe final del proyecto "Inventario de Flora y Fauna del Departamento de Oruro". La Paz. No publicado.

Pihl, RO y Parkes, M.

1977 *Hair element content in learning disabled children*. En: *Science*.

Sarmiento, J.; Barrera, S.; Bernal, N. y J. Aparcio, J.

1996 "Fauna de una localidad del Altiplano Central Huajara - Departamento de Oruro (Bolivia)". En: *Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental* 1, Cochabamba.

Thatcher, RW; Lester, ML; McAlaster, Horst R.

1982 "Effects of low Levels of Cadmium and Lead on Cognitive Functioning in Children". En: *Arch Environ Health*.



Gilka Wera Libermann. *El caballo y su espíritu*. Óleo.

NOTAS

- 1 El presente artículo se basa en los resultados de la investigación “Determinación de los efectos neurotóxicos de los metales pesados, en niños de 6 a 8 años, producto de la contaminación ambiental y bioacumulación en la zona Ex Campamento San José de la ciudad de Oruro”, apoyada por el PIEB en el marco de su Programa de Investigación Ambiental (PIEB-PIA). El estudio fue coordinado por Marilyn Aparicio, y contó con la participación de los investigadores María Isabel Cusicanqui, Luis Alberto Ramos, James Aparicio, Rosa Isela Meneses, María Soledad Jaimes, Liz Ely Quispe, Jaime Chincheros y Pablo Aldunate.
- 2 Marilyn Aparicio es neuróloga y neurofisióloga. Actualmente trabaja como docente investigadora del Instituto de Investigaciones en Salud y Desarrollo (IINSAD) Facultad de Medicina de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA). marilyneffen@gmail.com
- 3 Cubierta nerviosa especializada que permite que el nervio transmita con mayor velocidad información nerviosa compleja.
- 4 Inflamación de varios nervios al mismo tiempo.
- 5 El depósito mineral de Oruro se encuentra albergado en un complejo intrusivo de caldera volcánica de aproximadamente 16 millones de años que ha sido erosionado y parcialmente eliminado, exponiendo al conducto central compuesto de rocas intrusivas. Este conducto central está lleno de intrusiones y brechas

en forma de conos invertidos que tienen diámetros de exposición superficial de hasta 1 a 2 km.

6 El depósito de San José ha sido uno de los principales depósitos de plata-estaño de Bolivia. A finales del siglo XIX y principios del siglo XX, Bolivia era considerada como el mayor exportador de estaño del mundo (Ludington *et al.*, 1992).

7 Después del cierre de la mina, las casas y ambientes para funcionarios fueron transferidas, prestadas o arrendadas a los ex mineros. Sin embargo, la mina reabrió por el incremento del precio internacional de minerales y la población está viviendo alrededor de la bocamina.

8 Según el IDRC, el Enfoque Ecosistémico en Salud Humana en la investigación permite estudiar cómo la salud humana y la calidad ambiental son determinadas por relaciones complejas entre los distintos componentes de un ecosistema. Estudia cómo se puede proteger y mejorar la salud humana, mediante la gestión sustentable de los ecosistemas. Las investigaciones se realizan en forma interdisciplinaria, para plantear soluciones sustentables que trasciendan el sector salud y traduzcan los hallazgos científicos en políticas públicas y acciones.

9 Estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos. Las variables independientes ocurren y no es posible manipularlas; no se tiene control directo sobre dichas variables ni se puede influir sobre ellas, porque ya sucedieron, al igual que sus efectos.

10 Recopilan datos en un momento único.

11 No se puede calcular con precisión el error estándar, es decir, no podemos calcular con qué confianza hacemos una estimación.

12 No requiere “representatividad”.

13 Se evaluaron 199 niños en la ciudad de Oruro, por cambio de escuela de uno de los niños considerados en la muestra N= 200.

14 Se realizó un pareamiento por frecuencia de edades (6 a 8 años), grupo étnico, sexo, y región.

15 Tostado de maíz.

16 No se trata de una evaluación ecosistémica independiente para tener listados de animales o flora, sino de una evaluación del ecosistema como parte de la triada epidemiológica (ambiente, agente, huésped) que incide en el desarrollo neurológico de los niños de la ciudad de Oruro. Por lo tanto es altamente necesaria bajo el enfoque de ecosalud que estamos aplicando en la presente investigación.