

© 2025 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.  
Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).  
TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 28: 1-12, 2025.  
<https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2025.756>

## Comunicación de riesgos en la salud: Reducción de la biodisponibilidad de plomo y arsénico en una población infantil del Nevado de Toluca, México

Germán Martínez-Alva<sup>1\*</sup>, María del Carmen Colín-Ferreira<sup>1</sup>,  
Armando Sunny García-Aguilar<sup>2</sup>, Georgina Isabel García-López<sup>3</sup>,  
Rafael Fernando Sánchez-Barreto<sup>4</sup> y Araceli Consuelo Hinojosa-Juárez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Medicina, Laboratorio de Inteligencia Artificial, Universidad Autónoma del Estado de México, Paseo Tollocan esq. Jesús Carranza, Col. Moderna de la Cruz, 50180, Toluca, Edo. de México, México. <sup>2</sup>Centro de Investigación en Ciencias Biológicas Aplicadas, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto Literario # 100, Col. Centro, 5000, Toluca, Estado de México, México. <sup>3</sup>Centro Universitario Atlacomulco, Departamento de Psicología, Universidad Autónoma del Estado de México, Carretera Estatal libre Toluca-Atlacomulco, San Francisco Chalchihuapan, 50450, Atlacomulco, Estado de México, México. <sup>4</sup>Centro de Estudios e Investigación en Desarrollo Sustentable, Departamento de Sustentabilidad, Universidad Autónoma del Estado de México, Mariano Matamoros # 1007, Col. Universidad, 50130, Toluca, Estado de México, México. E-mail: \*gmartinezal@uamex.mx

### RESUMEN

El uso intensivo de plaguicidas y la actividad volcánica en el Nevado de Toluca, México, ha generado un impacto negativo en la salud de las personas, especialmente en los niños, considerados vulnerables a los contaminantes debido a que su organismo incorpora con facilidad elementos potencialmente tóxicos como el plomo y el arsénico, y que detoxifican con menor eficacia que los adultos; motivo por el que, se diseñó, se implementó y se evaluó un programa de comunicación de riesgos para disminuir la exposición y la biodisponibilidad a los elementos referidos. Los participantes fueron 45 niños y 45 niñas de 5 a 12 años nativos de la zona de estudio. La evaluación se realizó mediante cuestionarios y monitoreo biológico para determinar la concentración de estos elementos en la sangre y en la orina por Espectroscopía de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-OES). Los cuestionarios aplicados a los niños y a los padres de familia revelaron conocimiento del problema, experiencia directa por daños en la salud y en la conducta de los participantes relacionada a la contaminación. Sin embargo, el programa que se implementó ayudó a que la concentración de los elementos disminuyera ( $p < 0.0001$ ) en la mayoría de los niños, a causa de una menor exposición y biodisponibilidad a los tóxicos y un cambio en la percepción de la contaminación en la zona.

**Palabras clave:** salud, educación ambiental, biodisponibilidad, elementos con potencial tóxico.

### Health risk communication: Reduction in lead and arsenic bioavailability in children in Nevado of Toluca, Mexico

### ABSTRACT

The intensive use of pesticides and volcanic activity in Nevado of Toluca, Mexico, has generated a negative impact on people's health, especially in children, who are considered vulnerable to pollutants because their bodies easily incorporate potentially toxic elements such as lead and arsenic, and they detoxify less effectively than adults; for this reason, a risk communication program was designed, implemented and evaluated to reduce exposure and bioavailability to the aforementioned elements. The participants were 45 boys and 45 girls aged 5 to 12 native to the study area. The assessment was carried out using questionnaires and biological monitoring to determine the concentrations of these elements in blood and urine using Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy (ICP-OES). Questionnaires administered to children and parents revealed knowledge of the problem, direct experience with health problems and pollution related behavior among participants. However, the implemented program helped reduce the concentration of these elements ( $p < 0.0001$ ) in most children, due to reduce exposure and bioavailability of the toxins and a change in perception of pollution in the area.

**Keywords:** health, environmental education, bioavailability, elements with toxic potential.

Artículo recibido el 20 de septiembre del 2024.

Artículo aceptado el 30 de septiembre del 2025.

## INTRODUCCIÓN

**L**a explotación de los recursos naturales como el suelo y el agua en el Nevado de Toluca, México, es intensiva desde hace más de 50 años. Un estudio realizado por Martínez-Alva, Gutiérrez-Ruíz, Martínez-Campos, Villalobos-Pietrini & Arteaga-Reyes (2015) reveló una elevada concentración total y geodisponible de Elementos con Potencial Tóxico (EPT) que afecta al ecosistema y a la salud de las personas que viven en la región. En los años 2016 y 2017 se evaluó nuevamente el impacto de la actividad agrícola intensiva del cultivo de la papa en el Nevado de Toluca y se detectaron concentraciones elevadas de Arsénico (As), Cadmio (Cd) y Plomo (Pb) en suelo y sedimentos (Martínez-Alva & García-Argueta, 2016; Martínez-Alva, Vieyra-Reyes, López-Arriaga, Martínez-Campos & Arteaga-Reyes, 2018). En 2017, se identificó Pb en la sangre (PbS) y As en la orina (AsO) en niños residentes de “La Peñuela”, Nevado de Toluca, con una superación del límite permisible de 10 µg/dL y de 50 µg As/g de creatinina, respectivamente (Carrizales *et al.*, 1999; Mejía, Carrizales, Rodríguez, Jiménez-Capdeville & Díaz-Barriga, 1999; Martínez-Alva, Vieyra-Reyes, López-Arriaga, Martínez-Campos & Arteaga-Reyes, 2018; Martínez-Alva *et al.*, 2020). Se determinó que la principal ruta de exposición sería la ingesta de suelo, por la conducta recurrente de los niños a comer suelo contaminado, jugar con él, chupar sus juguetes, sus manos sucias y al gatear. Por lo anterior se considera al Nevado de Toluca como un área de riesgo para la salud de la población, en especial la infantil; razón por la que se diseñó, se implementó y se evaluó un Programa de Comunicación de Riesgos (PCR) como una herramienta para disminuir el contacto o exposición con los químicos mencionados provenientes de los plaguicidas utilizados en la localidad referida.

### Elementos con potencial tóxico

Las concentraciones elevadas de los EPT, producen efectos indeseables en la salud en el corto y mediano plazo; por ejemplo, el Pb en un rango de concentración de 10 a 30 µg/dL en la sangre ocasiona una disminución de la velocidad de la conducción nerviosa, del metabolismo de la vitamina D y del coeficiente intelectual (ATSDR, 2007a, b), así como encefalopatías, ataxia, edema cerebral, deterioro cognitivo, trastornos del comportamiento, anemia, afecciones reproductivas, y daño renal y hepático, entre otros (Salas-Marcial *et al.*, 2019; Ávalos-Ramírez, 2023). Canfield, Henderson, Cory-Slechta, Cox, Jusko & Lanphear (2003) refieren daño neurológico incluso en concentraciones sanguíneas por debajo de los 10 µg/dL, y la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2019) precisa que una concentración de 5 µg/dL o menor de Pb, genera en el humano impactos que comprometen la vida de una persona.

Elementos como el Cd, al estar asociado en la naturaleza a los depósitos de Zinc (Zn), se le considera, un EPT más tóxico para los seres vivos, similar al Pb y al Mercurio (Hg), (ATSDR,

2012). Los efectos adversos en la salud humana producidos por el Cd son: anemia, osteomalacia, osteopenia, osteoporosis, enfermedad renal, pulmonar, hepática, cáncer y eventualmente la muerte (Järup & Åkesson, 2009; ATSDR, 2012; OMS, 2019).

En el caso del Zn, la exposición a concentraciones elevadas produce, en los seres humanos, una intoxicación aguda con efectos adversos en los sistemas respiratorio, gastrointestinal y hematológico, alteraciones en los sistemas cardiovascular y neurológico (Cantoral *et al.*, 2015; Katayama *et al.*, 2018; Rosas-Romero & Covarrubias-Gómez, 2020). Incluso interfiere en la absorción de Cu, por lo tanto, muchos de sus efectos tóxicos se deben a la deficiencia de este último (Rosas-Romero & Covarrubias-Gómez, 2020).

El As es un contaminante recurrente en el suelo, el agua y los sedimentos (Woo & Chi, 2001; Bundschuh *et al.*, 2020) por lo que una concentración superior a los 10 µg/L es un riesgo para la salud de las personas (OMS, 2011) con repercusiones cardiovasculares, dérmicas, neurológicas, hepáticas, metabólicas y respiratorias (ATSDR, 2007a, b; Guo, Fujino, Ye, Liu & Yoshimura, 2017; Khan, Chakraborty, Bundschuh, Bhattacharya & Parvez, 2020). Además, cuando la exposición es crónica y se tienen problemas de desnutrición se presentan complicaciones neurológicas en la niñez (Calderón *et al.*, 2001).

### Comunicación de riesgos

La comunicación de riesgos (CR) es una herramienta de alto valor técnico que tiene como finalidad la concientización de las personas, con base en la información que se le otorga a la población sobre los riesgos de vivir en un ambiente tóxico (Baker, 1990; Hilts, Bock, Oke, Yates & Copes, 1998; Barraza, 1999). La CR también es un proceso para persuadir, informar e influir en la población sobre factores y amenazas que ponen en peligro su salud (Tinker & Silberberg, 1997; Moreno-Sánchez, Cubillas-Tejeda, Guerra-García & Peres, 2010; Moreno & Peres, 2011), es “un proceso de interacción e intercambio de información entre individuos, grupos o instituciones; relativo a las amenazas para la salud, la seguridad o el ambiente, con el propósito de que las personas afectadas, conozcan los riesgos a los que están expuestos y participen en su mitigación” (National Research Council, 1989).

Los elementos de un PCR son: la fuente, la audiencia, el mensaje y los canales de comunicación (McGuire, 1984; National Research Council, 1989; OPS, 2004; Wiedemann & Schütz, 2008). Se han propuesto ocho pasos básicos para el desarrollo de un PCR con base en Baker (1990): **a)** evaluación del riesgo para la salud; **b)** establecimiento de objetivos; **c)** evaluación de la audiencia blanco; **d)** evaluación del contexto sociocultural; **e)** selección del objetivo; **f)** construcción de las comunicaciones; **g)** puesta en operación del PCR y **h)** evaluación-convalidación de los efectos.

Finalmente, es importante precisar que antes de diseñar un PCR es necesario considerar el grado de conciencia que tiene la audiencia en la percepción de los riesgos que involucran a su salud, definida por su entorno social, cultural y económico (Douglas & Wildavsky, 1982; Wiedemann & Schütz, 2008; Slusarska, Krajewska-Kutak & Zarzycka, 2004), por lo que la noción de riesgo no significa lo mismo para todas las personas, ya que es una apreciación subjetiva de las características y la gravedad de un peligro dentro de un ámbito socioambiental determinado, basada en las actitudes, emociones y conocimientos de una situación (OMS, 2002; Slovic, Finucane, Peters & MacGregor, 2004; Choconi, 2010).

La articulación de los mensajes para los participantes es un asunto fundamental, debido a que, si ellos interpretan peligro en una situación reconocida por los especialistas, el PCR será un éxito contundente. El mensaje debe resumir el problema y quiénes están afectados, las alternativas para el manejo del riesgo, y cuáles son las acciones que deben realizar para mitigar o manejar el problema (Moreno-Sánchez, Cubillas-Tejeda, Guerra-García & Peres, 2010).

Con base en precisiones realizadas, se diseñó, se implementó y se evaluó un programa de comunicación de riesgos para disminuir la exposición y la biodisponibilidad a elementos con potencial tóxico, provenientes de los plaguicidas y/o la actividad volcánica, en la población infantil del Nevado de Toluca, México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Tipo de investigación

El presente estudio fue un ensayo comunitario de intervención en tres etapas: **1)** diagnóstico y diseño del PCR; **2)** implementación del programa y **3)** evaluación después de la intervención. Se desarrolló la investigación con metodologías cualitativas y cuantitativas de forma simultánea y con igualdad de estatus: CUAN + CUAL (Curry, Nembhard & Bradley, 2009; Pereira-Pérez, 2011; Gamboa & Castillo, 2013; Siddiqui & Fitzgerald, 2014).

### Zona de estudio

El Nevado de Toluca tiene una extensión aproximada de 46,784 ha, se encuentra ubicado en el sureste del Valle de Toluca, Estado de México (Figura 1), dentro de la provincia fisiográfica denominada Sistema Neovolcánico Transversal entre las coordenadas geográficas 18°51'31" y 19°19'03" de latitud Norte y 99°38'54" y 100°09'58" de longitud Oeste (CONANP, 2008). La zona incluye los municipios mexiquenses de: Almoloya de Juárez, Amanalco de Becerra, Calimaya, Coatepec Harinas, Temascaltepec, Tenango del Valle, Texcaltitlán, Toluca, Villa Guerrero, Villa Victoria y Zinacantepec (GEM, 2011).

El Nevado de Toluca o Xinantécatl, tiene una altura máxima de 4,680 msnm. La geomorfología y el rango altitudinal (mayor a

3,000 msnm), son los factores origen de numerosos arroyos que confluyen a las cuencas del río Lerma-Chapala-Santiago al norte y al oriente, y del río Balsas al sur y al occidente (CONAGUA, 2008). Se estima que del Nevado de Toluca descienden 60 arroyos permanentes, que albergan una biodiversidad alta de peces y anfibios principalmente, y se establecen hábitats, con un microclima propicio, para el desarrollo de reptiles, aves y mamíferos, fundamentales en el equilibrio ecológico de la región (CONABIO, 2024).

El Nevado de Toluca, se caracteriza por tener un suelo de tipo Andosol Úmbrico, Regosol Eútrico y Feozem, en ese orden de predominio; el tipo de roca encajonante es "caolinita-pirita", especialmente descrita en el abanico medio y del valle, que son consideradas las microrregiones más abundantes, ricas y diversas de toda la región. El clima predominante es frío en la cima del volcán, semifrío en las laderas con régimen de lluvias en verano y subhúmedo y templado también con lluvias en verano en los límites inferiores. La temperatura media anual oscila entre 2 y 9 °C y registra precipitaciones entre los 700 y 1,400 mm anuales aproximadamente (CONANP, 2008). El cultivo principal en el Nevado de Toluca es la papa, cultivo que demanda de agroquímicos de una amplia naturaleza química, en especial plaguicidas de amplio espectro; eventualmente se cultiva la flor de nube, la calabaza, el haba y el frijol; sin embargo, prevalece el cultivo de la papa de forma intensiva en la temporada de riego, temporal e incluso invernadero (Franco, Regil & Ordoñez, 2006).

### Diseño del PCR

Los elementos del PCR fueron los siguientes:

**La fuente.** Esta función la desarrollaron todos los investigadores participantes, liderados por el Dr. Germán Martínez Alva y la Dra. María del Carmen Colín Ferreira, de noviembre de 2023 a junio de 2024.

**La audiencia.** La población infantil que participó en el PCR estuvo constituida por 45 niños y 45 niñas de 5 a 12 años, residentes de la zona desde su nacimiento. El PCR se desarrolló durante el ciclo escolar 2023-2024 en la primaria "Lázaro Cárdenas" de la localidad "La Peñuela", Zinacantepec, Estado de México, México; la escuela se encuentra en la zona del Nevado de Toluca. La referida localidad está diagnosticada como contaminada por EPT provenientes de la actividad volcánica y/o de los plaguicidas que se emplean para la producción de la papa (Martínez-Alva, Gutiérrez-Ruiz, Martínez-Campos, Villalobos-Pietrini & Arteaga-Reyes, 2015; Martínez-Alva & García Argueta, 2016; Martínez-Alva *et al.*, 2020).

**El mensaje.** El suelo y el agua contaminados son considerados las principales rutas de exposición a EPT, en particular para la población infantil (Carrizales *et al.*, 1999; Mejía, Carrizales, Rodríguez, Jiménez-Capdeville & Díaz-Barriga, 1999; Razo,

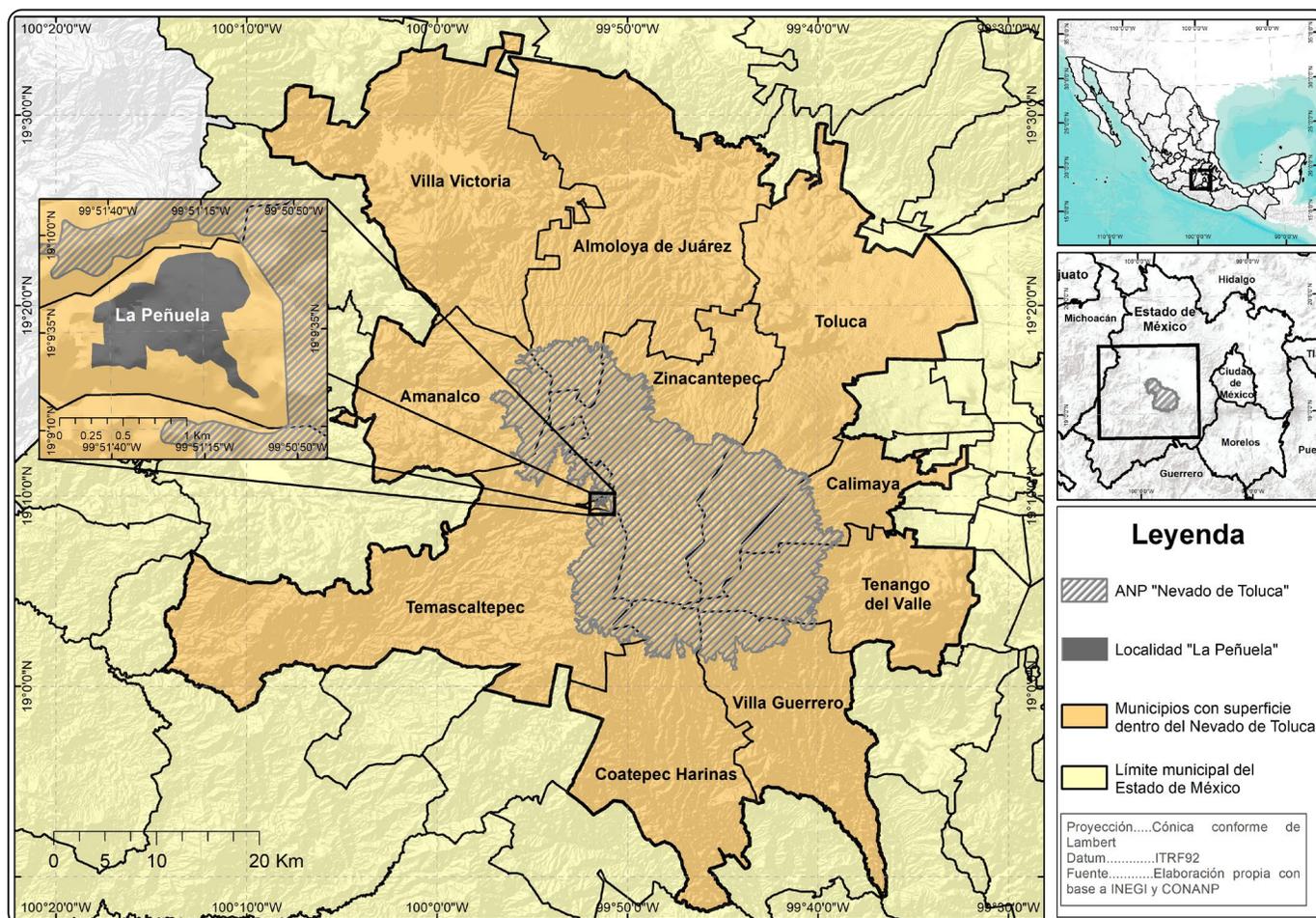


Figura 1. Localización de “La Peñuela”, zona del Nevado de Toluca, México. Fuente: Elaboración propia con base en INEGI y CONANP.

Carrizales, Castro, Díaz-Barriga & Monroy, 2004; Martínez-Alva *et al.*, 2020), de ahí la importancia de evitar la ingesta de suelo, polvo y agua “no procurada” (agua corriente); por lo que los mensajes principales para los niños y los padres de familia fueron: “no comas con las manos sucias, lávate las manos antes de comer, evita tomar agua no procurada, limpia el polvo dentro de tu casa y esmero en la higiene de tu familia, así como tu higiene personal”, entre otros. Además, se incluyó la siguiente información sobre otras fuentes de exposición en la región: **i)** principalmente sobre la toxicidad del Pb; **ii)** sobre el uso de ollas de barro vidriado sin curar para cocinar; **iii)** lo nocivo que representa chupar lápices, colores, crayolas, entre otros útiles escolares. Las recomendaciones fueron validadas por expertos y se implementaron en la población objeto, los términos utilizados se explicaron con el apoyo de material didáctico (principalmente audiovisual), para su total comprensión.

**Los canales de comunicación.** Los canales empleados, para la claridad del mensaje, se adecuaron a la población infantil,

destacaron los experimentos didácticos (Izquierdo, Sanmartí & Espinet, 1999), videos educativos (Bartolomé, 1999) y pláticas informativas magistrales multivía (Jacob & Janovitz, 2004).

**Implementación del PCR**

Los canales de comunicación utilizados se relacionaron con la contaminación del Nevado de Toluca, sus efectos en la salud y las medidas para reducir la exposición. En las presentaciones y experimentos siempre estuvieron presentes investigadores y maestros. A continuación, se describe brevemente cada uno de ellos:

**Experimentos didácticos.** Relativos a la contaminación ambiental y los efectos en la salud, especialmente por el Pb y el As. Uno de los experimentos consistió en usar una reacción colorimétrica para la determinación del Pb, en la que por medio de un agente oxidante como el cromato de potasio se oxida el Pb y se forma cromato de plomo, un pigmento amarillento muy atractivo y visible para los niños; esta reacción permitió que ellos identificaran el suelo que está contaminado con Pb.

La presentación de los experimentos se dividió en equipos de 15 niños (3 de niños y 3 de niñas).

**Videos educativos.** Se proyectaron los videos “*Érase una vez el cuerpo humano*”, de la Editorial Planeta-Agostini, “*Guerra a las toxinas*” y “*La contaminación por plomo*”, los tres en un lenguaje básico, objetivo, concreto, sutil y sensible, e íntimamente relacionados con problemas de contaminación ambiental y los efectos de los contaminantes en la salud de las personas.

**Pláticas informativas magistrales multivía.** Se impartieron a los niños participantes bajo la estrategia magistral de una narración descriptiva básica: inició con el reconocimiento previo de lo “qué sabes” a través de una(s) pregunta(s) detonadora, se atendió el marco conceptual, se avanzó con la atención al marco de referencia, se continuó con el proceso de enseñanza aprendizaje a través de ejemplos sencillos de la vida cotidiana, posteriormente se realizó un ejercicio confirmatorio, siguió la evaluación con base en una rúbrica, finalmente se formularon las conclusiones y se propuso el cierre. En estas pláticas magistrales se informó sobre las fuentes de exposición al Pb y el As, los efectos en la salud y la importancia de reducir la exposición a estos EPT.

### Evaluación del PCR

Para la evaluación del PCR los investigadores diseñaron, aplicaron y analizaron un cuestionario dirigido a los 90 niños participantes y a los padres de familia durante el mes de junio de 2024. La convalidación se realizó con un monitoreo biológico en muestras de sangre y orina de los participantes por Espectroscopía de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-OES).

Un mes después de finalizar la última sesión de “*Las pláticas informativas magistrales multivía*”; y al cierre de cada una de las sesiones se llevaron a cabo las conclusiones. Las preguntas estuvieron relacionadas con la contaminación provocada por el Pb y As, con la prevención de la exposición a EPT y los efectos en la salud. El análisis del cuestionario consistió en identificar las preguntas que los niños contestaron acertadamente con base en la información que se les proporcionó durante el desarrollo del PCR. Los cuestionarios que se aplicaron a 111 padres de familia y 90 a niños, se llevaron a cabo (antes y después del PCR) para conocer los cambios de conducta en ambos y cuáles se renovar en cada uno y la frecuencia para obtener un total (Cuadro I).

### Determinación de la concentración de Pb y As

Se tomaron muestras de sangre y de orina, con base en instrucciones de precisión, a los 90 niños participantes en el PCR. El monitoreo biológico se realizó antes de iniciar y al finalizar el PCR. Los criterios para realizar el estudio fueron los siguientes: **1)** Firma de consentimiento informado y voluntario

por parte de los padres de familia y el asentimiento del niño y **2)** Ser originarios de “La Peñuela” Nevado de Toluca, México desde su nacimiento. La investigación atendió los principios éticos de la declaración de Helsinki de 2008 (AMM, 2008).

Las muestras de sangre (5 mL) se tomaron por punción venosa, en ayuno, utilizando tubos Vacutainer® libres de Pb, con EDTA como anticoagulante (detección de Pb). La concentración de As se determinó en la primera orina de la mañana recolectada en frascos de polietileno lavados con HNO<sub>3</sub> al 10 % y enjuagados con agua desionizada. Se utilizó una alícuota de cada muestra para la cuantificación de creatinina y ajustar el As. Los EPT se analizaron por Espectroscopía de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-OES) en el Laboratorio de Análisis Físicos y Químicos de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). En ambos casos se utilizaron estándares de referencia como control de calidad y la recuperación fue del 98 %. Es relevante precisar que no se tomaron muestras de niños que no participaron en el PCR, porque el objetivo no fue comparar los resultados entre un grupo de niños que participaron y otro que no participaron; sino comparar los resultados antes y después de la intervención con el PCR; es decir, cada niño fue su propio control (90 muestras).

### Análisis estadístico

Para comparar los resultados obtenidos, antes y después del PCR se realizó una prueba de ji-cuadrada con el fin de examinar las concentraciones de los EPT encontrados en los niños incluidos y los resultados de los cuestionarios. Para el monitoreo biológico, la variable Pb siguió una distribución normal, no así el As por lo que se normalizaron los datos mediante una transformación logarítmica. Se utilizó la T-pareada para comparar los valores promedio del primer al segundo muestreo biológico de sangre en la determinación de Pb. Se realizó una prueba de ANOVA de mediciones repetidas, para determinar si existió una disminución o un aumento de las concentraciones del AsO en cada niño. Se utilizó el programa Instant Biostatistics versión 2 (GraphPad Software) y el programa SPSS 10.0 para Windows.

## RESULTADOS

### Evaluación del PCR

#### *Aprendizaje logrado y cambio de conducta*

**Cuestionarios.** De las 41 preguntas incluidas en el cuestionario aplicado a los niños los resultados revelaron que el 95 % respondió correctamente a más del 80 % de las preguntas, situación que indica que la mayoría logró el aprendizaje de la información proporcionada durante el PCR. Las preguntas 3, 5, 6 y de la 29 a la 32, el 100% las contestó correctamente. En (atención a la pregunta 33 del cuestionario) la totalidad de los menores manifestó que no consumirá la papa que se produce en su localidad. Las preguntas que más dificultad tuvieron para contestar fueron de la 7 a la 10, que se refieren a la definición de los contaminantes, plomo, arsénico y plaguicida. Con respecto a la pregunta 1 ¿Puedes jugar con suelo?, la respuesta

**Cuadro I. Cuestionario.**

Aplicado a los niños	Aplicado a los padres de familia
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ¿Puedes jugar con suelo?</li> <li>2. ¿Qué debes hacer después de jugar en el suelo?</li> <li>3. ¿Debes lavar o limpiar tus juguetes después de jugar en el suelo?</li> <li>4. ¿Por qué se debe limpiar diario tu casa?</li> <li>5. ¿Por qué se deben lavar tus zapatos después de jugar en el suelo?</li> <li>6. ¿Consideras que el suelo con el que juegas puede tener cosas peligrosas?</li> <li>7. ¿Qué son los contaminantes?</li> <li>8. ¿Qué sabes acerca del plomo?</li> <li>9. ¿Qué sabes acerca del arsénico?</li> <li>10. ¿Qué sabes acerca de los plaguicidas?</li> <li>11. ¿Consideras que los plaguicidas son peligrosos para la salud de las personas?</li> <li>12. ¿Cómo puede entrar el plomo a tu cuerpo?</li> <li>13. ¿Consideras que un cubrebocas o mascarilla puede evitar que los contaminantes entren a tu cuerpo?</li> <li>14. ¿Cuál es el color del plomo que se observó en el experimento que se hizo con la tierra contaminada?</li> <li>15. ¿Cómo se puede saber si entró plomo a tu cuerpo?</li> <li>16. ¿Cómo se puede saber si entró arsénico a tu cuerpo?</li> <li>17. ¿Qué daño puede causarte el plomo?</li> <li>18. ¿Qué daño puede causarte el arsénico?</li> <li>19. ¿Cómo puedo protegerme del plomo?</li> <li>20. ¿Cómo puedo protegerme del arsénico?</li> <li>21. ¿Consideras que el agua con polvo puede enfermar a una persona?</li> <li>22. ¿Consideras conveniente tomar agua de los arroyos?</li> <li>23. ¿Consideras conveniente tomar agua del río de tu comunidad?</li> <li>24. ¿Consideras conveniente mantener tapados los recipientes que contienen agua en tu casa?</li> <li>25. ¿Consideras conveniente mantener tapado el tinaco de tu casa?</li> <li>26. ¿Qué agua es mejor para beber?</li> <li>27. ¿Tomas agua de garrafón?</li> <li>28. ¿Qué agua tomas sino tienes agua de garrafón?</li> <li>29. ¿Consideras que el agua contaminada puede enfermar a las plantas?</li> <li>30. ¿Consideras que el agua contaminada puede enfermar a los animales?</li> <li>31. ¿Consideras que es bueno usar ollas de barro vidriado sin curar para cocer los alimentos?</li> <li>32. ¿Consideras que la papa que se produce en tu localidad es saludable?</li> <li>33. ¿Comes de la papa que se produce en tu localidad?</li> <li>34. ¿Por qué crees que se aplican plaguicidas a la papa que se cultiva en tu localidad?</li> <li>35. ¿Consideras que es bueno lavar frutas y verduras antes de comerlas?</li> <li>36. ¿Chupas o muerdes tus lápices o colores?</li> <li>37. ¿Chupas o muerdes tus crayolas?</li> <li>38. ¿Consideras que es bueno chupar o morder lápices o colores?</li> <li>39. ¿Consideras que es bueno chupar las crayolas?</li> <li>40. ¿Debemos lavar las manos antes de comer cualquier alimento?</li> <li>41. ¿Cuidar tu salud es importante?</li> </ol>	<p>Su hijo ¿realiza las siguientes actividades?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ¿Juega con suelo?</li> <li>2. ¿Se lava las manos después de jugar con suelo?</li> <li>3. ¿Lava o limpia sus juguetes después de haber jugado con ellos en el suelo?</li> <li>4. ¿Limpia diario su habitación?</li> <li>5. ¿Le pide que limpie su habitación?</li> <li>6. ¿Chupa sus manos sucias?</li> <li>7. ¿Chupa sus dedos?</li> <li>8. ¿Come suelo?</li> <li>9. ¿Come lodo?</li> <li>10. ¿Lava sus zapatos después de jugar en el suelo?</li> <li>11. ¿Refiere qué es un contaminante?</li> <li>12. ¿Le ha referido algún dato sobre el plomo?</li> <li>13. ¿Le ha referido algún dato sobre el arsénico?</li> <li>14. ¿Le ha referido algún dato sobre plaguicidas?</li> <li>15. ¿Usa cubrebocas o mascarilla cuando los productores de papa están asperjando plaguicidas?</li> <li>16. ¿Toma agua de los arroyos de la localidad?</li> <li>17. ¿Toma agua del río de la localidad?</li> <li>18. ¿Toma agua de la llave?</li> <li>19. ¿Toma agua de lluvia?</li> <li>20. ¿Le pide que ya no cocine en ollas de barro vidriado sin curar?</li> <li>21. ¿Le pide que lave las frutas y verduras que van a consumir?</li> <li>22. ¿Le pide que lave la papa que van a consumir?</li> <li>23. ¿Le pide que le dé leche, queso o yogurt?</li> <li>24. ¿Chupa o muerde sus lápices?</li> <li>25. ¿Chupa o muerde sus colores?</li> <li>26. ¿Chupa o muerde sus crayolas?</li> <li>27. ¿Chupa o muerde plastilina?</li> <li>28. ¿Chupa o muerde libros?</li> <li>29. ¿Chupa o muerde sus juguetes?</li> <li>30. ¿Chupa o come pintura de las paredes?</li> <li>31. ¿Con la información que ha recibido ha tomado medidas para evitar la incorporación de elementos con potencial tóxico?</li> </ol>

correcta fue sí, ya que durante la implementación del PCR no se les prohibió jugar con suelo, sólo se exhortó a no comerlo, a lavarse las manos y a lavar o limpiar sus juguetes después de jugar con ellos en el suelo. Esta pregunta solo fue respondida correctamente por el 11 % de ellos.

En los cuestionarios aplicados a los padres de familia se encontró evidencia que corrobora no sólo los cambios de conducta en la mayoría de los niños (Cuadro II), sino también en ellos; de las 63 madres de familia que usaban la olla de barro vidriado para cocinar frijoles (69.93 %), después de la implementación del PCR sólo ocho la continuaban usando (5.04 %), ( $p < 0.05$ ,  $OR = 6.9$ ).

**Determinación de la exposición a Pb y As mediante el monitoreo biológico**

Los resultados mostraron una disminución estadísticamente significativa de la concentración de PbS en la mayoría de los niños analizados ( $p < 0.0001$ ): **i)** una disminución en la media de la concentración de 4.81 µg/dL y otra en el rango de las concentraciones encontradas; **ii)** de los 90 niños analizados, en el 87 % se redujo, en el 8 % subieron y en un 5 % permanecieron en la misma situación de concentración después del PCR (Cuadro III). Con respecto a la concentración de AsO se encontró también una disminución en la media en los tres muestreos, ya que estuvo por debajo del límite de intervención para AsO (50 µg As/g de creatinina). En el Cuadro III se muestra la estadística descriptiva para PbS y AsO.

**DISCUSIÓN**

El presente estudio surgió de la imperante necesidad de tomar acciones para mitigar los riesgos a la salud de las personas, en especial la de los niños, ya que son más susceptibles a los efectos de los contaminantes (Louis *et al.*, 2006) depositados

en la zona del Nevado de Toluca, debido a que se han reportado concentraciones geodisponibles elevadas de EPT provenientes de los plaguicidas utilizados en la producción intensiva de la papa (Martínez-Alva *et al.*, 2015; Martínez-Alva & García Argueta, 2016; Martínez-Alva *et al.*, 2020).

La contaminación identificada en la zona de estudio fue la razón por la que se diseñó, se implementó y se evaluó un PCR como una estrategia de intervención para disminuir la exposición infantil a los EPT, en especial al Pb y al As. La razón por la que se empleó en esta investigación la “comunicación de riesgos” como herramienta para el cuidado de la salud, deriva de que está comprobada como una herramienta efectiva para el intercambio de información, formulación de recomendaciones precisas y en el planteamiento de opiniones objetivas entre expertos y las personas que se enfrentan a amenazas o riesgos que comprometen su sobrevivencia, salud o bienestar integral (Covello & Sandmand, 2004; Covello, 2008; Moreno & Peres, 2011).

El diseño del PCR consideró como una estrategia el análisis de la percepción de riesgos y los conocimientos relacionados con la contaminación en la zona de estudio, tanto en la población infantil como en la población adulta (padres de familia de los 90 niños participantes en el presente estudio), ya que como lo precisan Covello & Sandmand, 2004; Covello, 2008; Fitzpatrick-Lewis, Yost, Ciliska & Krishnaratne, 2010; Moreno-Sánchez, Cubillas-Tejeda, Guerra-García & Peres, 2010, es fundamental conocer la percepción del riesgo ambiental de la población, sus preocupaciones y necesidades apremiantes para diseñar con eficacia un PCR, con el propósito de favorecer la participación activa de la comunidad que se traduzca en cambios positivos en el comportamiento de los participantes para beneficio de su integridad y su salud.

**Cuadro II. Reportes de los padres de familia de los cambios en la conducta y los conocimientos en los niños.**

Actividad	Antes del PCR (% niños)	Después del PCR (% niños)	Ji-cuadrada	p	OR	Intervalos de confianza (%)
Comer pintura de paredes	11	0	6.82	0.0198	16.11	0.98-299.2
Chupar o morder lápices	54	9	6.11	0.0088	5.09	1.68-19.23
Chupar o morder colores	51	4	8.09	0.018	6.97	2.012-23.15
Chupar o morder crayolas	47	0	33.78	<0.0001	98.42	5.76-1852.1
Chupar o morder juguetes	49	4	11.23	0.001	12.573	3.25-52.63
Chuparse manos o dedos	50	5	10.59	0.0026	6.17	1.93-19.56
Jugar con tierra	84	45	5.09	0.041	3.38	1.087-5.16
Lavarse las manos después de jugar con tierra	80	79	0.02193	0.871	1.08	0.53-2.25
Lavar o limpiar sus juguetes	41	80	4.41	0.36	0.0415	0.185-0.895
¿Conoce el origen de la contaminación?	11	52	13.26	0.0004	0.287	0.101-0.6583

**Cuadro III. Estadística comparativa de los niveles de plomo en la sangre y de arsénico en la orina de las muestras biológicas tomadas a los niños que participaron en el PCR en el Nevado de Toluca, México.**

Plomo en sangre					
Mes de muestreo	n	Media aritmética ± D.E (µg/dL)	Rango (µg/dL)	%> 10 (µg/dL) (Límite de intervención)	%> 5 (µg/dL)
Noviembre 2023	90	15.36±1.52	1.36-32.06	55	88
Junio 2024	90	5.06±3.25	2.52-19.26	11.06	83
Arsénico en orina					
Mes de muestreo	n	Media geométrica* ± D.E* (µg As/g de creatinina)	Rango (µg As/g de creatinina)	%> 50 (µg As/g de creatinina) (Límite de intervención)	
Noviembre 2023	90	15.23	4.25-61.25	2.21	
Febrero 2024	90	11.52	4.26-70.25	2.08	
Junio 2024	90	8.11	3.25-71.05	2.45	

El diseño del PCR también consideró que la comunicación entre los expertos, los niños y los padres de familia, fuera asertiva, concreta, objetiva y gentil con el propósito de que la recepción de los mensajes influyera en una decisión positiva y se apropiaran de ellos. Los canales de comunicación que motivaron a los niños fueron los experimentos didácticos, los videos educativos (medios audiovisuales) y las pláticas informativas magistrales multivía, por ser vías de comunicación atractivas y despiertan su interés (especialmente los experimentos didácticos). En el caso de los padres de familia de los 90 niños participantes, el canal de comunicación preferente fueron las pláticas informativas magistrales multivía, debido a que es el canal más significativo por la base conceptual que se atiende, situación que es consistente con lo previsto de acuerdo con Fitzpatrick-Lewis, Yost, Ciliska & Krishnaratne (2010) y Moreno-Sánchez, Cubillas-Tejeda, Guerra-García & Peres (2010).

En el diseño del PCR también se consideró una evaluación pertinente de este, con el propósito de reconocer los logros alcanzados después de su implementación; en particular al cambio de hábitos y la disminución en la exposición y disponibilidad (biodisponibilidad) a los contaminantes en los niños. La evaluación reveló que los niños participantes tienen una idea más clara sobre el problema de la contaminación que provoca la producción intensiva de la papa en su localidad y perciben el riesgo que representan los plaguicidas para su salud; sin embargo, el logro más significativo fue que al alterar sus hábitos se tradujo en una disminución de la exposición a los EPT, al evitar chuparse las manos y los objetos, cubrir los recipientes que contengan agua, asear diario su habitación, limpiar o lavar sus juguetes, entre otros (Cuadro III). Adicional a que sus padres en específico, como ya se mencionó, “las madres que regularmente cocinaban en ollas de barro vidriado sin curar dejaron de usarlas”. Es importante precisar que la variación

de la conducta de los padres de familia fue también producto de la influencia del programa, aunque no se realizó un estudio observacional confirmatorio.

Sin embargo, el logro más relevante de la presente investigación fue disminuir la concentración de PbS y AsO en la mayoría de los niños ( $p < 0.0001$ ), al prevenirlos de evitar el contacto con el suelo contaminado; sin embargo, no en todos ellos los análisis fueron favorables, ya que hubo quienes superaron el límite de intervención, situación que se complica al no conseguir controlar la exposición al polvo contaminado.

La evaluación de riesgos es una estrategia que implica el manejo de incertidumbres. En el caso de la presente investigación, la mayor incertidumbre fue la ruta de exposición. El PCR se centró en la ingesta y no en la inhalación; aunque definitivamente la disminución de la inhalación de contaminantes es un asunto difícil, casi imposible de lograr. Según Saladie (2022) la única forma efectiva de control o mitigación de contaminantes por la vía aérea implica el uso de Equipo de Protección Individual (EPI), con características particulares para el usuario, es decir: protección individual de las vías respiratoria (EPIVR) o sea una máscara con mascarilla integrada y boquilla adaptada al casco respiratorio con filtro, situación que es difícil de solventar en el contexto rural, incluso en el especializado. No obstante, el presente estudio, permitió definir con claridad la ruta que siguen los contaminantes desde la fuente (el suelo) hasta los niños.

Finalmente, es relevante destacar que la naturaleza de la presente investigación, empleó un método mixto de investigación, al poner en práctica métodos cuantitativos y cualitativos para evaluar el PCR, lo que complementa la convalidación. Se recomienda que la información disponible y relacionada con la contaminación de la zona se incluya en los programas

educativos de las escuelas; es decir, que se contextualice la enseñanza y el aprendizaje y así la población esté informada de forma permanente de los riesgos a los que está expuesta y reduzca exponerse.

### CONCLUSIONES

La investigación científica que contempla la interdisciplina y multidisciplinaria es una tendencia posmoderna por su pertinencia en el abordaje de los problemas y sobre todo por los resultados multidimensionales e integrales que se generan, y es aún más relevante cuando se emplean metodologías cualitativas y cuantitativas de forma simultánea con igualdad de estatus crítico, porque los resultados se complementan; como en el caso de la presente investigación, en el que la comunicación de riesgos fue una estrategia efectiva para que los participantes comprendieran y aceptaran el aprendizaje clave, lo que detonó un cambio en la percepción de los riesgos que representan los elementos con potencial tóxico que provienen de los plaguicidas (y la actividad volcánica) que se emplean en la producción intensiva del cultivo de la papa en el Nevado de Toluca, así como un cambio contundente en la conducta y en la relación con la contaminación del ambiente, como lo evidencian los cuestionarios posintervención, aplicados a los niños y a los padres de familia participantes. En el caso de las concentraciones biodisponibles de elementos con potencial tóxico, estas disminuyeron ( $p < 0.0001$ ) en la mayoría de los infantes. Se logró una convalidación direccional simétrica (1:1) en la comunicación de riesgos y monitoreo biológico. Una perspectiva de investigación es la posibilidad de que las instituciones comprometidas con el cuidado al medio ambiente y la población en riesgo, emprendan acciones que ayuden a conservar el ecosistema y la salud de los afectados.

### LISTA DE ACRÓNIMOS

**EPT:** Elementos con Potencial Tóxico  
**PCR:** Programa de Comunicación de Riesgos  
**ICP-OES:** Espectroscopía de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento Inductivo  
**OMS:** Organización Mundial de la Salud  
**PbS:** Plomo en Sangre  
**AsO:** Arsénico en Orina  
**CR:** Comunicación de Riesgos  
**EDTA:** Ácido Etilendiaminotetraacético  
**ANOVA:** Análisis de Varianza  
**EPI:** Equipo de Protección Individual  
**EPIVR:** Equipo de Protección Individual de las Vías Respiratorias

### AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los estudiantes que participaron activamente en el desarrollo de la presente investigación científica y al personal técnico del Laboratorio de Análisis Físicos y Químicos de la Universidad Nacional Autónoma de México.

### REFERENCIAS

- (ATSDR) Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2012). *Public Health Statement for Cadmium*. United States Department of Health and Human Services. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, Estados Unidos de Norteamérica: GA.
- (ATSDR) Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2007a). *Toxicological Profile for Lead*. United States Department of Health and Human Services. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, Estados Unidos de Norteamérica: GA.
- (ATSDR) Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2007b). *Toxicological Profile for Arsenic*. United States Department of Health and Human Services. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, Estados Unidos de Norteamérica: GA.
- (AMM) Asociación Médica Mundial (2008). *Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial: Principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos*. Seúl, Corea: 59ª Asamblea General. [en línea]. [http://www.ub.edu/reerca/Bioetica/doc/Declaracio\\_Helsinki\\_2008.pdf](http://www.ub.edu/reerca/Bioetica/doc/Declaracio_Helsinki_2008.pdf) 30/08/2024.
- Ávalos-Ramírez, Y. J. (2023). Contaminación por plomo en suelo, agua, alimentos y sus efectos en los seres humanos. *Revista de Investigaciones de la Universidad Le Cordon Bleu*, **10(2)**, 59-68. DOI: <https://doi.org/10.36955/RIULCB.2023v10n2.006>.
- Baker, F. (1990). Communication about Environmental Hazards. *Journal of Public Health Pollution*, **2**, 341-359. [en línea]. <https://link.springer.com/article/10.2307/3342713>
- Barraza, L. (1999). Children's drawings about the environment. *Environmental Education Research*, **5(1)**, 49-66. [en línea]. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1350462990050103>
- Bartolomé, A. R. (1999). *Nuevas tecnologías en el aula: guía de supervivencia*. Barcelona: Graó.
- Briceño-León, R. (1996). Siete tesis sobre la educación sanitaria para la participación comunitaria. *Cadernos de Saúde Pública*, **12**, 7-30. [en línea]. [https://www.scielosp.org/article/ssm/content/raw/?resource\\_ssm\\_path=/media/assets/csp/v12n1/1594.pdf](https://www.scielosp.org/article/ssm/content/raw/?resource_ssm_path=/media/assets/csp/v12n1/1594.pdf)
- Bundschuh, J., Armienta, M. A., Morales-Simfors, N., Alam, M. A., López, D. L., Delgado-Quezada, V., Dietrich, S., Schneider, J., Tapia, J., Sracek, O., Castillo, E., Parra, L. M., Altamirano-Espinoza, M., Guimarães-Guilherme, L. R., Sosa, N. N., Niazi, N. K., Tomaszewska, B., Lizama-Allende, K., Bieger, K., Alonso, D. L., Brandão, P. F., Bhattacharya, P., Litter, M. I. & Ahmad, A. (2020). Arsenic in Latin America: New findings on source, mobilization and mobility in human environments in 20 countries based on decadal research 2010-2020. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, **51(16)**, 1727-1865. DOI: <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1770527>.

- Calderón, J., Navarro, M. E., Jiménez-Capdeville, M. E., Santos-Díaz, M. A., Golden, A. I., Rodríguez-Leyva, V., Borja-Aburto, A. & Díaz-Barriga, F. (2001). Exposure to arsenic and lead and neuropsychological development in Mexican children. *Environmental Research*, **85** (2), 69-76. [en línea]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935100941069>.
- Canfield, R. L., Henderson, Ch. R., Cory-Slechta, D. A., Cox, Ch., Jusko, T. A. & Lanphear, B. P. (2003). Intellectual impairment in children with blood lead concentrations below 10 µg per deciliter. *New England Journal of Medicine*, **348** (16), 1517-1526. [en línea]. <https://cir.nii.ac.jp/crid/1573950399791943296>
- Cantoral, A., Téllez-Rojo, M. M., Levy, T. S., Hernández-Ávila, M., Schnaas, L., Hu, H. & Ettinger, A. S. (2015). Differential association of lead on length by zinc status in two-year old Mexican children. *Environmental Health*, **14**, 1-7. DOI: 10.1186/s12940-015-0086-8.
- Carrizales, L., Batres, L., Ortiz, M. D., Mejía, J. J., Yáñez, L., García, E., Reyes, H. & Díaz-Barriga, F. (1999). Efecto en salud asociados con la exposición a residuos peligrosos. *Scientiae Naturae*, **2**(1), 5-28. [en línea]. [https://www.researchgate.net/profile/Leticia-Yanez-3/publication/260387912\\_Efectos\\_en\\_Salud\\_Asociados\\_con\\_la\\_Exposicion\\_a\\_Residuos\\_Peligrosos/links/54434fd50cf2e6f0c0f94003/Efectos-en-Salud-Asociados-con-la-Exposicion-a-Residuos-Peligrosos.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Leticia-Yanez-3/publication/260387912_Efectos_en_Salud_Asociados_con_la_Exposicion_a_Residuos_Peligrosos/links/54434fd50cf2e6f0c0f94003/Efectos-en-Salud-Asociados-con-la-Exposicion-a-Residuos-Peligrosos.pdf)
- Choconi, G. (2010). Comunicaciones de riesgo, una aproximación conceptual, documento de trabajo. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. [en línea]. [http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/UERA/file/0910\\_comunic\\_riesgo\\_UERA.pdf](http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/UERA/file/0910_comunic_riesgo_UERA.pdf).
- CONABIO Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad (2024). Regiones Terrestres Prioritarias de México. [en línea]. [http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/rtp1mgw.xml?\\_httpcache=yes&\\_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc\\_html\\_xsl&\\_indent=no](http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/rtp1mgw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html_xsl&_indent=no).
- CONAGUA Comisión Nacional del Agua (2008). Estadísticas del agua en México. [en línea]. [http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM\\_2008.pdf](http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM_2008.pdf).
- CONANP Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2008). Parques Nacionales. [en línea]. <http://nevadodetoluca.conanp.gob.mx>.
- Covello, V. & Sandmand, P. (2004). *Risk Communication: Evolution and Revolution in Solutions to an Environment in Peril*. Baltimore: John Hopkins University Press.
- Covello, V. T. (2008). Comunicación de riesgos: principios, herramientas y técnicas. Informe Técnico de Salud Mundial. [en línea]. [https://www.k4health.org/sites/default/files/risk%20comm\\_spa.pdf](https://www.k4health.org/sites/default/files/risk%20comm_spa.pdf).
- Cox, H. D. (1980). Arsenic evolution-electrothermal atomic absorption method for the determination of nanogram levels of total arsenic in urine and water. *Journal of Analytical Toxicology*, **4**(4), 207-211. DOI: <https://doi.org/10.1093/jat/4.4.207>
- Curry, L. A., Nembhard, I. M. & Bradley, E. H. (2009). Qualitative and mixed methods provide unique contributions to outcomes research. *Circulation*, **119**, 1442-1452. DOI: <http://circ.ahajournals.org/content/119/10/1442.full.pdf+html>.
- Díaz-Barriga, A. F. (2003). Cognición situada y estrategias para el aprendizaje significativo. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, **5**(2), 1-13. [en línea]. <http://redie.uabc.mx/contenido/vol5no2/contenido-arceo>.
- Douglas, M. & Wildavsky, A. (1982). *Risk and culture: An essay on the selection of technical and environmental dangers*. Berkeley: University of California Press.
- Ertmer, P. A. & Newby, T. J. (1993). Conductismo, cognitivismo y constructivismo: una comparación de los aspectos críticos desde la perspectiva del diseño de instrucción. *Performance Improvement Quarterly*, **6**(4), 50-72. [en línea]. [http://ares.unimet.edu.ve/programacion/psfase3/modII/biblio/CONDUCTISMO\\_%20COGNITIVISMO\\_%20CONSTRUCTIVISMO.pdf](http://ares.unimet.edu.ve/programacion/psfase3/modII/biblio/CONDUCTISMO_%20COGNITIVISMO_%20CONSTRUCTIVISMO.pdf).
- Fabregat, E. (1959). *El dibujo infantil: El dibujo y la psicología*. Ciudad de México: Luis Fernández Editores.
- Fitzpatrick-Lewis, D., Yost, J., Ciliska, D. & Krishnaratne, S. (2010). Communication about environmental health risks: A systematic review. *Environmental Health*, **9**, 1-15. [en línea]. <http://www.ehjournal.net/content/9/1/67>
- Franco, S., Regil, H. & Ordoñez, J. (2006). Dinámica de perturbación de las zonas forestales en el Parque Nacional Nevado de Toluca. *Madera y Bosque*, **12**, 17-28. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2006.1211247>.
- Gamboa, R. W. & Castillo, M. E. (2013). La evaluación cualitativa en el campo social y en la educación. *Posgrado y Sociedad*, **13**, 45-60. [en línea]. <http://investiga.uned.ac.cr/revistas/index.php/posgrado/article/view/385>.
- GEM Gobierno del Estado de México (2011). Secretaría de Medio Ambiente. Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna. Áreas Naturales Protegidas en el Estado de México. Categorías de las áreas protegidas [en línea]. [http://portal2.edomex.gob.mx/cepanaf/areas\\_naturales\\_protegidas/categorias\\_areas\\_protegidas/index.htm](http://portal2.edomex.gob.mx/cepanaf/areas_naturales_protegidas/categorias_areas_protegidas/index.htm).
- Gimeno, J. & Pérez, A. I. (1994). *Comprender y transformar la enseñanza*. Madrid: Ediciones Morata, S.L.
- Goulet, L., Gaudreau, J. & Messier, A. (1996). Results of a lead decontamination program. *Archives of Environmental Health: An International Journal*, **51**(1), 68-72. DOI: <https://doi.org/10.1080/00039896.1996.9935996>.
- Guo, X., Fujino, Y., Ye, X., Liu, J. & Yoshimura, T. (2017). Japan Inner Mongolia Arsenic Pollution Study Group. The health risk associated with chronic diseases in villages with high arsenic levels in drinking water supplies. *Exposure and Health*, **9**, 261-273. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12403-016-0238-2>.

- Hilts, S. R., Bock, S. E., Oke, T. L., Yates, Ch. L. & Copes, R. A. (1998). Effect of interventions on children's blood lead levels. *Environmental Health Perspectives*, **106**, 79-83. DOI: <https://doi.org/10.1289/ehp.9810679>
- Izquierdo, M., Sanmartí, N. & Espinet, M. (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, **17**, 45-59. DOI: <http://ddd.uab.es/pub/edlc/02124521v17n1p45.pdf>.
- Jacob, E. & Ramírez, A. (2002). *¿Te lo cuento otra vez...?*. Ciudad de México: Consejo Nacional de Fomento Educativo CONAFE.
- Jacob, E. & Ramírez, A. (2004). *Circo, maroma y brinco*. Ciudad de México: Consejo Nacional de Fomento Educativo CONAFE.
- Jacob, E. & Janovitz, E. (2004). *Aprender jugando*. Ciudad de México: Consejo Nacional de Fomento Educativo CONAFE.
- Järup, L. & Åkesson, A. (2009). Current status of cadmium as an environmental health problem. *Toxicology and Applied Pharmacology*, **238**, 201-208. DOI: 10.1016/j.taap.2009.04.020.
- Katayama, K., Kawaguchi, T., Shiraishi, K., It, T., Suzuki, K., Koreeda, C. & Suzuki, K. (2018). The prevalence and implication of zinc deficiency in patients with chronic liver disease. *Journal of Clinical Medicine Research*, **10(5)**, 437. DOI: 10.14740/jocmr3374w.
- Khan, K. M., Chakraborty, R., Bundschuh, J., Bhattacharya, P. & Parvez, F. (2020). Health effects of arsenic exposure in Latin America: An overview of the past eight years of research. *Science of The Total Environment*, **710**, 136-171. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136071>.
- Louis, G., Damstra, T., Díaz-Barriga, F., Faustman, E., Hass, U., Kavlock, R., Kimmel, C., Kimmel, G., Krishnan, K., Luderer, U. & Sheldon, L. (2006). Principles for evaluating health risks in children associated with exposure to chemicals (Environmental health criteria 237). Ginebra: OMS. [en línea]. <http://www.who.int/ipcs/publications/ehc/ehc237.pdf>.
- Martínez-Alva, G., Gutiérrez-Ruiz, M. E., Martínez-Campos, A. R., Villalobos-Pietrini, R. & Arteaga-Reyes, T. T. (2015). Concentración total y geodisponible de elementos potencialmente tóxicos en suelos volcánicos con uso agrícola del nevado de Toluca, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, **31(2)**, 113-125. [en línea]. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992015000200001&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992015000200001&script=sci_arttext)
- Martínez-Alva, G. & García Argueta, I. (2016). Disponibilidad de elementos potencialmente tóxicos que representan riesgo latente para la salud ambiental y humana. En Canales, R. A. & Ovando, W. (Eds.). *Desarrollo económico, regional y sustentable. Una perspectiva multidisciplinaria*. (pp. 312-330). Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México. ISBN: 978-607-422-748-2.
- Martínez-Alva, G., Vieyra-Reyes, P., López-Arriaga, J. A., Martínez-Campos, A. R. & Arteaga-Reyes, T. T. (2018). Geodisponibilidad de elementos potencialmente tóxicos que representan riesgo ambiental en suelos agrícolas del Nevado de Toluca. En Ávila-Akerberg, V. & González, T. (Eds.). *Biodiversidad, servicios ecosistémicos y los objetivos del desarrollo sostenible en México*. (pp. 111-140). Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México y el Servicio Alemán de Intercambio Académico. ISBN Internacional: 978-1-5323-9166-8.
- Martínez-Alva, G., Gheno-Heredia, Y. A., Martínez-Campos, A. R., Vieyra-Reyes, P., López-Arriaga, J. A., Manzur-Quiroga, M. A. & Arteaga-Reyes, T. T. (2020). Geodisponibilidad de elementos potencialmente tóxicos en suelos agrícolas que representan riesgo para el ambiente y la salud de la población del Nevado de Toluca, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, **36(3)**, 847-856. DOI: <https://doi.org/10.20937/RICA.53614>.
- McGuire, W. J. (1984). Public Communication as a Strategy for Inducing Health-promoting Behavioral Change. *Preventive Medicine*, **13(3)**, 299-319. DOI: [https://doi.org/10.1016/0091-7435\(84\)90086-0](https://doi.org/10.1016/0091-7435(84)90086-0).
- Mejía, J. J., Carrizales, L., Rodríguez, V. M., Jiménez-Capdeville, M. E. & Díaz-Barriga, F. (1999). Un método para la evaluación de riesgos para la salud en zonas mineras. *Salud Pública de México*, **41**, 132-140. [en línea]. <https://www.scielosp.org/pdf/spm/1999.v41suppl2/S132-S140/es>.
- Moreno-Sánchez, A. R., Cubillas-Tejeda, A. C., Guerra-García, A. & Peres, F. (2010). Comunicación de riesgos en América Latina. En Galvao, L. A., Finkelmany, L. J. & Henao, S. (Eds.). *Determinantes ambientales y sociales de la salud, Organización Panamericana de la Salud*. (pp. 279-300). Ciudad de México: McGraw-Hill Interamericana.
- Moreno, A. R. & Peres, F. (2011). El estado del arte de la comunicación de riesgos en la región de América latina. *Revista de Comunicación y Salud*, **1**, 52-68. [en línea]. <http://www.revistadecomunicacionysalud.org/index.php/rcys/article/view/11/6>.
- NRS National Research Council (1989). Improving risk communication. Washington, D C: National Academy Press. [en línea]. <http://www.nap.edu/openbook.php?isbn=0309039436>.
- OMS Organización Mundial de la Salud (2002). Percepción de los Riesgos: Informe sobre la salud en el mundo 2002, reducir los riesgos y promover una vida sana. Ginebra: OMS. [en línea]. <http://www.who.int/whr/2002/en/Chapter3S.pdf>.
- OMS Organización Mundial de la Salud (2011). Arsenic in drinking-water: Background document for development of WHO guidelines for drinking-water quality. Ginebra: OMS. [en línea]. [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/water-quality/guidelines/chemicals/arsenic.pdf?](https://www.who.int/water_sanitation_health/water-quality/guidelines/chemicals/arsenic.pdf?)
- OMS Organización Mundial de la Salud (2019). Intoxicación por plomo y salud. Ginebra: OMS. [en línea]. [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/water-quality/guidelines/chemicals/lead.pdf?](https://www.who.int/water_sanitation_health/water-quality/guidelines/chemicals/lead.pdf?)

- who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health.
- OPS Organización Panamericana de la Salud (2004). Curso de autoinstrucción en comunicación de riesgos: Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental. Brasilia: OPS. [en línea]. <http://www.opas.org.br/ambiente/risco/tutorial6/e/temas.html>.
- Pereira-Pérez, Z. (2011). Los diseños de método mixto en la investigación en educación: Una experiencia concreta. *Revista Electrónica Educare*, **15(1)**, 15-29. [en línea]. <https://www.redalyc.org/pdf/1941/194118804003.pdf>
- Razo, I., Carrizales, L., Castro, J., Díaz-Barriga, F. & Monroy, M. (2004). Arsenic and heavy metal pollution of soil, water and sediments in a semi-arid climate mining area in Mexico. *Water, Air, and Soil Pollution*, **152**, 129-152. DOI: <https://doi.org/10.1023/B:WATE.0000015350.14520.c1>
- Rogozinski, V. (1999). El juego con títeres: Un taller laboratorio. En Regozinski, V (Ed.). *El juego: Debate y aportes a la didáctica*. (pp. 78-95). Buenos Aires: Novedades Educativas.
- Rosas-Romero, R. & Covarrubias-Gómez, A. (2020). El papel del zinc en la salud humana. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, **58(4)**, 477-485. DOI: <https://doi.org/10.24875/RMIMSS.M20000073>
- Salas-Marcial, C., Garduño-Ayala, M. A., Mendiola-Ortiz, P., Vences-García, J. H., Zetina-Román, V. C., Martínez-Ramírez, O. C. & Ramos-García, M. D. (2019). Fuentes de contaminación por plomo en alimentos, efectos en la salud y estrategias de prevención. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, **20(1)**. [en línea]. <https://www.redalyc.org/journal/813/81359562002/81359562002.pdf>
- Siddiqui, N. & Fitzgerald, J. A. (2014). Elaborated integration of qualitative and quantitative perspectives in mixed methods research: A profound enquiry into the nursing practice environment. *International Journal of Multiple Research Approaches*, **8(2)**, 137-147. DOI: <https://doi.org/10.1080/18340806.2014.11082056>
- Slovic, P., Finucane, M. L., Peters, E. & MacGregor, D. G. (2004). Risk as analysis and risk as feelings: Some thoughts about affect, reason, risk and rationality. *In the Feeling of Risk*, **24**, 311-322. [en línea]. <https://api.taylorfrancis.com/content/chapters/edit/download?identifierName=doi&identifierValue=10.4324/9781849776677-3&type=chapterpdf>
- Slusarska, B., Krajewska-Kutak, E. & Zarzycka, D. (2004). Children's perception of the nursing profession in Poland. *Nurse Education Today*, **24(7)**, 521-529. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nedt.2004.06.003>
- Tinker, T. & Silberberg, P. G. (1997). Fundamentos de evaluación para los programas de comunicación de riesgos a la Salud y sus resultados. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos. Washington, DC: National Academy Press. [en línea]. <http://www.atsdr.cdc.gov/es/riesgo/evaluacion/tranevalprimer.pdf>.
- Wiedemann, P. M. & Schütz, H. (2008). Informing the public about information and participation strategies in the siting of mobile communication base stations: An experimental study. *Health, Risk and Society*, **10**, 517-534. DOI: <https://doi.org/10.1080/13698570802533002>
- Woo, N. C. & Chi, M. J. (2001). Arsenic and metal contamination of water resources from mining wastes in Korea. *Environmental Geology*, **40**, 305-311. DOI: <https://doi.org/10.1007/s002540000161>