



REVISIÓN

E-waste: a global threat with an impact on nutrition

Desechos electrónicos: una amenaza global con impacto en la nutrición

Jazmín Elena Castro Jalca¹  , Edwin Joao Merchán Carreño²  , Karina Virginia Mero Suárez²  , María Geomara Moreira³  

¹Facultad de Ciencias de la Salud, Carrera de Laboratorio Clínico, Universidad Estatal del Sur de Manabí. Jipijapa, Manabí, Ecuador.

²Facultad de Ciencias Técnicas, Carrera de Tecnologías de Información, Universidad Estatal del Sur de Manabí. Jipijapa, Manabí, Ecuador.

³Facultad de Ciencias de la Salud, Carrera de Laboratorio Clínico, Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Manabí, Ecuador.

Citar como: Castro Jalca JE, Merchán Carreño EJ, Mero Suárez KV, Moreira MG. E-waste: a global threat with an impact on nutrition. Salud, Ciencia y Tecnología. 2024; 4:.591. <https://doi.org/10.56294/saludcyt2024.591>

Enviado: 02-03-2024

Revisado: 01-06-2024

Aceptado: 15-09-2024

Publicado: 16-09-2024

Editor: Dr. William Castillo-González 

Autor para la correspondencia: Jazmín Elena Castro Jalca 

ABSTRACT

Introduction: the generation and increase of electronic waste (e-waste) represents a focus of attention in the biomedical area due to the devastating impact on health. The importance and study ranges from toxicological understanding in adults to teratological effects in neonates. Studies have shown that e-waste affects the uptake of micronutrients, in addition to environmental contamination.

Objective: to describe the main nutritional effects of e-waste in vulnerable populations.

Method: a retrospective descriptive model was performed following the PRISMA model, including manuscripts that were published since 2015.

Results: of the total number of articles identified, 21 articles were selected that met the established criteria. E-waste has a great impact on the environment by contaminating soil, food, vegetables, and air. Through these routes, children, pregnant women, and recyclers can acquire different toxic compounds. The main affectations described are alterations in iron metabolism and glycemic index, metabolic alterations, changes in the microbiota, affectation in the synthesis of antibodies and metabolic activity of reparative enzymes.

Conclusions: personnel in nutrition and related areas should understand the mechanism of action of e-waste, nutrient utilization, and the effect of metals and compounds derived from e-waste to avoid nutritional deficiencies.

Keywords: E-Waste; Nutrients; Metabolism; Nutrition; Contamination.

RESUMEN

Introducción: la generación y el aumento de desechos electrónicos (e-waste) representa un foco de atención en el área biomédica por el devastador impacto sobre la salud. La importancia y estudio va desde la comprensión toxicológica en adultos hasta los efectos teratológicos en neonatos. Estudios han demostrado que los e-waste afectan la captación de micronutrientes, además de la contaminación del medio ambiente.

Objetivo: describir los principales efectos nutricionales que tienen desechos electrónicos en la población vulnerable.

Método: se realizó un modelo descriptivo de corte retrospectivo siguiendo el modelo PRISMA, incluyendo manuscritos que fueron publicados desde el 2015.

Resultados: del total de artículos identificados, se seleccionaron 21 artículos que cumplían con los criterios establecidos. Los e-waste tienen gran impacto en el medio ambiente contaminando el suelo, alimentos, vegetales y el aire. A través de estas vías los niños, embarazadas y recicladores pueden adquirir distintos compuestos tóxicos. Las principales afectaciones que se describen son: alteraciones en el metabolismo del

hierro e índice glucémico, alteraciones metabólicas, cambios en la microbiota, afectación en la síntesis de anticuerpos y actividad metabólica de enzimas reparadoras.

Conclusiones: el personal de la nutrición y áreas afines deben comprender el mecanismo de acción de los e-waste, el aprovechamiento de nutrientes y el efecto de metales y compuestos derivados de desechos electrónicos a fin de evitar deficiencias nutricionales.

Palabras clave: Desechos Electrónicos; Nutrientes; Metabolismo; Nutrición; Contaminación.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años el mundo ha experimentado grandes avances en el campo tecnológico y electrónico. Esto se traduce en un reemplazo acelerado de dispositivos tecnológicos. Actualmente se denominan residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) o WEEE por sus siglas en inglés (Waste Electrical and Electronic Equipment) o e-waste, que por definición corresponde a todo equipo eléctrico cuyo periodo de vida útil ha concluido.⁽¹⁾

En este sentido; la población en general, los residentes aledaños a las zonas de reciclaje y especialmente los trabajadores de reciclaje de desechos electrónicos, se encuentran expuestos a peligros: físicos, químicos, ergonómicos y psicosociales. El desafío en el área biomédica parte desde el momento que el ser humano queda expuesto a una gran variedad de productos químicos; que incluyen metales, partículas y compuestos orgánicos provenientes de los e-waste que pueden encontrarse en altas concentraciones en el agua, aire, suelo, el polvo, alimentos y matrices humanas (sangre, orina, leche materna). Dentro del espectro clínico de las manifestaciones comunes que se presentan, se encuentran la cefalea, tos, el dolor torácico y dolor abdominal.^(2,3)

La problemática mundial aumenta cuando se conoce que la producción masiva de residuos e-waste ha tenido un crecimiento exponencial del 3 % al 5 % anual. En 2016, la cantidad global de desechos fue de aproximadamente 44,7 millones de toneladas métricas (Mt) y alcanzó los 57 Mt en 2021.⁽⁴⁾ A esta notificación se suma el hecho de que, en una sociedad globalizada, la continua y acelerada innovación tecnológica y creación de equipos reduce considerablemente el ciclo de uso de los productos electrónicos, tales como televisores, circuitos impresos, celulares, máquinas de copiado, monitores LED/LCD y otros más; lo que lleva a que potenciales consumidores demanden dispositivos más avanzados con una mayor rapidez, conforme las nuevas generaciones aparecen. Cabe señalar que este comportamiento ocurre en países con mayor ingreso per cápita y con economías desarrolladas que les permiten cambiar constantemente de equipos electrónicos.⁽⁵⁾

Por otra parte, las técnicas empleadas por quienes trabajan con reciclaje informal son muy básicas y demasiado primitivas, con poca o ninguna consideración por la salud. Algunas de las sustancias químicas que se liberan al ambiente durante el reciclaje son: platino (Pt), oro (Au), cadmio (Cd), plata (Ag), paladio (Pd), zinc (Zn), plomo (Pb), cobre (Cu), cobalto (Co), níquel (Ni) y minerales de tierras raras, por ejemplo, itrio (Y), lantano (La), cerio (Ce), neodimio (Nd) y los constituyentes orgánicos halogenados como los clorofluorocarbonos (CFC), policlorados de bifenilos (PCB), bifenilos polibromados (PBB) y los retardantes de llama bromados (BFR). Varios investigadores informaron que las altas concentraciones de estos metales pesados están asociadas con un mayor riesgo de cáncer. La exposición a estos agentes genotóxicos, principalmente a través de la inhalación, la ingestión y el contacto dérmico, pueden dañar el ADN.^(6,7)

Tomando en cuenta los problemas generados por las enfermedades infecciosas, las actuales consecuencias del estilo vida occidental con la aparición de las enfermedades crónicas degenerativas no transmisibles y las enfermedades adquiridas debido a la contaminación del ambiente; es posible empezar a considerar el efecto negativo de la producción masiva de equipos eléctricos y electrónicos sobre la salud física, emocional y psicológica de los usuarios, expresando en la adicción y dependencia tecnológica^(8,9,10) y en la toxicidad de los desechos electrónicos que una vez llegan al organismo impactan negativamente la salud nutricional.

Afectando principalmente a los siguientes grupos vulnerables:

1. Las mujeres recicladoras de desechos electrónicos en las cuales se ha reportado detección en el organismo de Difenil éteres polibromados (PBDE) y bifenilos policlorados (PCB), así como dioxinas/furanos polibromados, policlorados y bifenilos policlorados similares a las dioxinas.⁽¹¹⁾ En ellas La mayoría de estos compuestos son disruptores endocrinos y también son neurotóxicos e inmunotóxicos.⁽¹²⁾

2. Mujeres embarazadas: la exposición a desechos electrónicos tóxicos en ellas puede derivar en desenlaces adversos como la muerte fetal, parto prematuro o un peso y talla baja al nacer. Se ha descrito que la exposición al plomo durante el reciclaje de desechos electrónicos se relaciona con puntuaciones significativamente más bajas en las evaluaciones neuroconductuales de los recién nacidos y aumento en el número de pacientes con trastorno por déficit de atención/hiperactividad, y afectación cognitiva y lingüística.⁽¹³⁾

3. Los niños: que están expuestos a estos desechos también son vulnerables debido a su superficie corporal lo que permite que el nivel de contaminantes que absorben es mayor en relación con el tamaño corporal además de una menor capacidad para metabolizar y eliminar las sustancias tóxicas, lo que a su vez incrementa el riesgo de padecer enfermedades crónicas como las oncológicas y las cardiovasculares en etapas posteriores de la vida.^(14,15)

Además de las alteraciones en el sistema endocrino, inmunológico y efectos neurotóxicos en el neurodesarrollo y neurodegeneración, se conoce que los metales pesados sustituyen a los micronutrientes esenciales, por ejemplo, el calcio es desplazado por el plomo, el zinc es sustituido por el cadmio y la mayoría de los elementos traza son removidos por el aluminio. Esto trae como consecuencia la destrucción de los procesos metabólicos, al mismo tiempo que alteran la actividad de las hormonas y la función de las enzimas esenciales junto con la creación de un desequilibrio antioxidante.⁽¹⁶⁾ Otros componentes como el bisfenol están correlacionados positivamente con la obesidad, pues esta sustancia se encuentra aumentada en alimentos procesados y de escaso valor nutritivo provocando daño oxidativo en el organismo.⁽¹⁷⁾ Así mismo, los metales pueden producir en los alimentos disminución del contenido de nutrientes al alterar su producción, como ocurre en el trigo, además de ser un vehículo del metal tóxico, al mismo tiempo que patrones de dieta ricas en panes y cereales aumentan el consumo de ellos.⁽¹⁸⁾

Otros elementos que considerados nutrientes como el cromo (III), puede resultar carcinógeno genotóxico (IV) dependiendo de su estado electroquímico de valencia. Se sabe que los niños expuestos al cromo en sitios de desechos electrónicos han mostrado daño en el ADN de los linfocitos, peso y circunferencia torácica reducidos en comparación con los niños no expuestos.⁽¹⁹⁾

Considerando el impacto que pueden tener los desechos electrónicos en la salud, se realizó esta revisión bibliográfica con el objetivo caracterizar el mecanismo de acción de e-waste sobre la salud metabólica y la alteración de los niveles de determinados micronutrientes esenciales para funciones importantes, especialmente en grupos vulnerables y personas con riesgo laboral.

MÉTODO

Tipo de estudio

Se realizó una revisión del tema, la cual se organizó por tópicos la evidencia registrada en artículos científicos sobre la asociación de la alteración de procesos metabólicos, la cantidad en sangre de micronutrientes y las enfermedades relacionadas con su deficiencia que aparecen por la exposición a los desechos electrónicos, específicamente, en diferentes grupos etarios. Se utilizaron bases de datos electrónicas, tomando solo aquellos estudios que fueron publicados a partir del año 2015 hasta el 2023.

Diseño de la búsqueda

Para la obtención de los manuscritos, se utilizaron las siguientes palabras claves en inglés: “e-waste and nutrition” “e-waste and nutrients” y “e-waste and health nutrition”. Esta fórmula fue introducida en la barra de búsqueda de los sitios de búsqueda de Pubmed (motor de búsqueda) (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>), Scielo (biblioteca electrónica) (<https://scielo.org/>), Elsevier (<https://www.elsevier.com/>) y Google Scholar (motor de búsqueda) (<https://scholar.google.com/>). Inicialmente se revisaba el título de la publicación, posteriormente se confirmaba el año de la publicación obedeciendo al rango de inclusión.

Criterios de inclusión y exclusión

Para la presente investigación se tomaron como criterios de inclusión los siguientes aspectos: - Artículos originales publicados en revistas indexadas a partir del año 2015, - Artículos que hayan incluido cualquier grupo etario o ciclo vital, - Manuscritos que consideraron cualquier tipo de opción laboral en la que exista manejo de e-waste.

Como criterios de exclusión fueron tomados los siguientes elementos: - Estudios previos al año 2015, - Artículos que publicaron modelos animales o datos provenientes de muestras del suelo, aire o alimentos contaminados, - Manuscritos publicados con datos provenientes de ensayos in vitro.

Extracción de los datos

Una vez obtenido el manuscrito digital definido, se procedió a obtener la siguiente información descrita en tablas: autor, país, población estudiada, el objetivo de la investigación y los resultados junto a las conclusiones de forma resumida.

Una vez realizada la síntesis cualitativa se obtuvieron 21 artículos relacionados con el mecanismo de acción de e-waste sobre la salud metabólica y la alteración del estado de micronutrientes esenciales para funciones importantes, especialmente en grupos vulnerables y personas con riesgo laboral. La búsqueda y selección de los artículos está representada en el gráfico PRISMA (ver figura 1).⁽²⁰⁾

Posterior al análisis de la evidencia se identificaron tres abordajes centrales. El primero describe de

forma general la asociación de los desechos electrónicos con la nutrición. El Segundo aborda las afecciones nutricionales en neonatos, niños en edad preescolar, niños en edad escolar y embarazadas, siendo estos grupos de alta vulnerabilidad fisiológica e inmunológica y por ende de gran importancia nutricional. El tercer y último examina las consecuencias en la salud por la exposición laboral a desechos electrónicos. Con tópicos se acompaña una tabla resumen de las características y principales hallazgos de los estudios que permitieron generar las conclusiones.

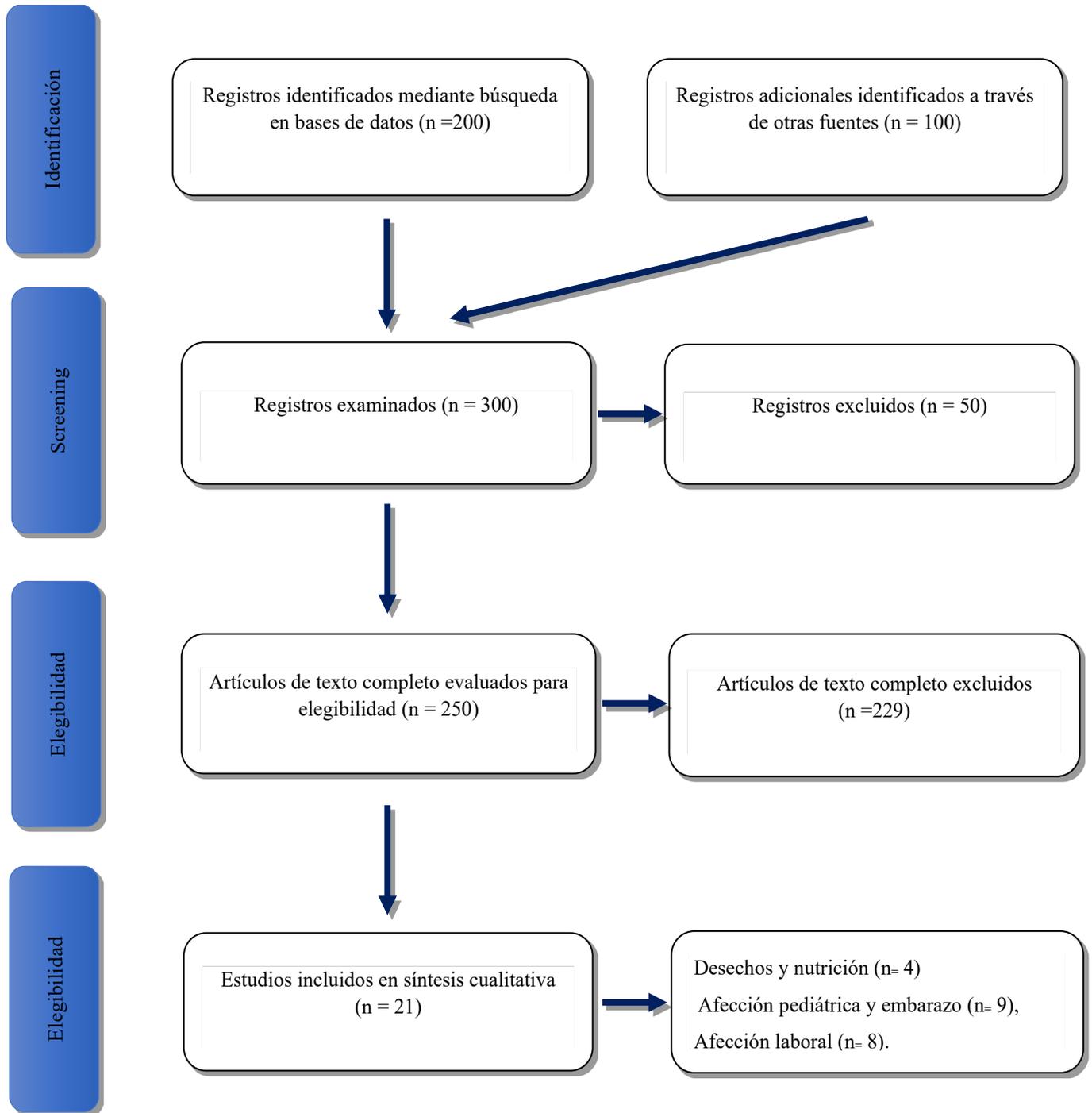


Figura 1. Proceso de recolección de datos. Búsqueda y selección de documentos

RESULTADOS

Desechos electrónicos y Nutrición

Son diversos los estudios que evidencian los daños orgánicos que generan los desechos electrónicos, siendo los órganos generalmente afectados los pulmones,⁽²¹⁾ el cerebro,⁽²²⁾ el hígado y los riñones.⁽²³⁾ Por otro lado, se ha documentado que los diversos componentes que integran la estructura física de un dispositivo electrónico

pueden dispersarse en el ambiente y a su vez generar daños pato-metabólicos en el organismo. La alteración del metabolismo del hierro y de la síntesis de hemoglobina es uno de los principales problemas registrados que se puede relacionar con el estado de micronutrientes cuando el cuerpo humano ha estado expuesto a desechos electrónicos.

Henríquez et al.⁽²⁴⁾ demostró una correlación negativa entre pacientes con anemia y valores de hierro sérico disminuido y una concentración elevada de minerales tóxicos que se adquirieron desde la tierra, que provenían de desechos tóxicos. El autor infiere que la ingestión de estos minerales compite con el hierro a nivel intestinal impidiendo su absorción. Esta observación del estado sérico del hierro también fue reportada por Takyi et al.⁽²⁵⁾ A lo anterior se sumaba el hecho de que recicladores estudiados por el autor no cumplían con la ingesta diaria de hierro, necesaria para cubrir su requerimiento, siendo bajo el hierro en sangre. De igual modo, la exposición a biomasa también se correlacionó con un valor bajo de este mineral. El magnesio y el zinc también se reportaron disminuidos; en sangre y acompañados de una baja ingesta de alimentos, respectivamente. Este estudio sugiere que la exposición prolongada de más de 10 años a desechos electrónicos probablemente contribuya a la excreción de micronutrientes (Ca, Fe, Zn, Cu y Se) por la orina.

Otro estudio llevado a cabo Takyi et al.⁽²⁶⁾ procuró establecer la relación de cómo como la ingesta dietética de micronutrientes podría evitar los efectos secundarios de material particulado que es generado por los desechos electrónicos. Aunque fue un estudio de cohorte longitudinal, encontraron una fuerte asociación entre el aumento de la ingesta diario de hierro y calcio con la reducción de la presión arterial sistólica (PAS) y la presión de pulso (PP). Es necesario señalar que no hay muchos estudios que avalen esta hipótesis; solo que la idea es concebida ya que el grupo incluido que estaba expuesto a los desechos electrónicos consumía frecuentemente sopas que contenían hojas verdes con alto contenido de hierro no hemínico.

Se espera que esta hipótesis sea confirmada a futuro con estudios experimentales. Algunos estudios confirman que las personas que poseen bajos recursos económicos no pueden financiar una dieta variada que posea todos los macronutrientes y micronutrientes. Se conoció a través de ese estudio de consumo que los recicladores expuestos a desechos electrónicos poseían un bajo de consumo de micronutrientes reguladores y antioxidantes como magnesio, zinc, cobre y selenio. Otro de los efectos secundarios a la exposición con desechos electrónicos es el aumento de metales pesados en sangre. Estos metales pesados, específicamente el plomo y el cadmio por su efecto citotóxico, tienen un impacto negativo sobre la salud metabólica. Entre las diferentes lesiones metabólicas, se ha registrado el aumento de la glicemia. El estudio de Dawud et al.⁽²⁷⁾ determinó que 1 g/L de plomo aumenta significativamente los niveles de glucosa en sangre en un 0,9 % entre los recicladores, deduciendo que la exposición a estos metales pesados podría ser un factor de riesgo para la aparición de la diabetes mellitus.

Desechos electrónicos en la población pediátrica y en mujeres embarazadas

El estudio del origen y desarrollo de las enfermedades es un foco de especial interés en la pediatría. Se conoce que agentes externos pueden modular los genes, y por ende la expresión de proteínas, determinando a futuro el fenotipo de las células que condicionan la salud del niño en crecimiento. Efectivamente, tomando este fundamento como base, Li et al.⁽²⁸⁾ encontró un perfil de proteoma cuando el tejido del cordón umbilical era expuesto a difenilo de polibromados. Se sabe que el cordón umbilical es el encargado del transporte de oxígeno y nutrientes hacia el feto. Uno de los hallazgos que resalta el autor es el aumento de la traducción de proteínas de la vía MAPK3 y MAP2K1, que desencadenan la respuesta apoptótica, así como fue evidenciado el aumento del citocromo C, que activa la respuesta apoptótica en las células que componen el órgano transmisor de nutrientes al feto en desarrollo.

Durante la infancia se encontró que metales como el plomo y el cadmio afectan los niveles de hemoglobina. En niños expuestos a desechos electrónicos y zonas de reciclaje, Zeng et al.⁽²⁹⁾ encontraron una disminución de la hemoglobina en 2,82 g/L; y a su vez, esto fue asociado con una disminución de la función ventilatoria pulmonar (FVP), donde por cada valor de disminución de la hemoglobina (1 g/l) se redujeron 5 ml de la FVP, disminución que se evidencia principalmente en la función pulmonar un mal intercambio gaseoso, afectando todos los procesos vitales y del desarrollo infantil. De igual manera, Zeng et al.⁽³⁰⁾ indican que se puede considerar el peso al nacer y el perímetro torácico para monitorear la ausencia de exposición al plomo, pues valores positivos entre la correlación de la FVP y estos valores, permiten estimar la presencia del riesgo que generan los desechos electrónicos.

Otro estudio llevado a cabo por Wang et al.⁽³¹⁾ demostró que aquellos niños en edad preescolar con rangos de plomo en sangre entre 5,0-9,9 µg/dL y $\geq 10,0$ µg/dL tenían valores más bajo de hemoglobina comparado con el grupo que tenía $< 5,0$ µg/dL. Es decir, a mayor concentración de plomo en sangre, menor fue la síntesis de hemoglobina.

Entre las distintas alteraciones del metabolismo del hierro, también se encuentran otras que son de importancia en la infancia, siendo una de ellas la alteración de la microbiota intestinal. Zeng et al.⁽³²⁾ hipotetizan que la exposición al plomo podría reducir la microbiota intestinal en los niños y la producción y

absorción de vitaminas que son necesarios durante la infancia. Adicionado a la alteración de la microbiota, Xu et al.⁽³³⁾ pudieron documentar que aquellos niños con mayor exposición al plomo y al mercurio excretaban en la orina mayor cantidad de 8-hidroxidesoxiguanosina (8-OHdG) y de la enzima reparadora humana 8-oxoguanina ADN glicosilasa (hOGG1). Estas enzimas son las encargadas de la reparación del daño oxidativo en el ADN. Cabe mencionar que el aumento de estas enzimas es directamente proporcional al colapso metabólico de las células.

Otra alteración encontrada asociada con la nutrición es la disminución en la producción de anticuerpos. El inmunometabolismo de los linfocitos B es muy importante para la producción de los anticuerpos. Lin et al.⁽³⁴⁾ midieron las concentraciones de múltiples metales pesados y metaloides junto con los niveles de anticuerpos contra los agentes vacunados, incluidos la difteria, la tos ferina, el tétanos, la hepatitis B, la encefalitis japonesa, la poliomielitis y el sarampión, en niños de 3 a 7 años. Los autores encontraron que el grupo expuesto a desechos electrónicos tenía niveles más altos de plomo, manganeso, cobre, zinc y cromo en sangre en comparación con el grupo de referencia ($p < 0,05$). Los niveles de todos los anticuerpos de la vacuna en el grupo expuesto fueron significativamente más bajos que en el grupo de referencia ($p < 0,01$). Todos los anticuerpos de la vacuna se correlacionaron negativamente con las concentraciones sanguíneas de cobre, zinc y plomo, según el análisis de correlación de rangos de Spearman.

Además de las diferentes vías de acceso conocidas para la obtención de estas moléculas tóxicas para el organismo; como lo es la vía respiratoria y por contacto, la vía digestiva también puede ser una potencial puerta de entrada. El estudio de Soetrismo et al.⁽³⁵⁾ muestra que tanto el agua como el suelo pueden tener concentraciones elevadas de plomo y mercurio que son perjudiciales para el organismo; y que paralelamente se pueden encontrar en el cabello y la sangre de niños expuestos a los desechos electrónicos. Resaltando de esta forma que la contaminación del agua puede interferir en la disponibilidad de los nutrientes cuando se preparan los alimentos y posteriormente durante el proceso de absorción.

En las mujeres embarazadas los metales pesados como el cadmio genera complicaciones en el producto del embarazo. Zhang et al.⁽³⁶⁾ encontraron asociaciones inversas significativas entre las concentraciones maternas de cadmio en la orina y la antropometría al nacer en los neonatos femeninos, tales como la disminución de peso al nacer, talla al nacer, circunferencia cefálica a medida que el metal pesado aumentaba su concentración. Esto indica que la acumulación del metal en el organismo durante el embarazo puede alterar el proceso de crecimiento y desarrollo del feto.

Desechos electrónicos en el entorno laboral

Tanto Mishra et al.⁽³⁷⁾ como Li et al.⁽³⁸⁾ identificaron datos en el cual describen que aquellos lugares con vertederos de agua y depósitos de desechos electrónicos cerca tienden a contaminar los pastajes y a su vez transmiten los metales pesados al ganado y a las aves.

Anh et al.⁽³⁹⁾ también identificaron la transmisión de éteres de difenilo polibromados en peces. Estos alimentos contaminados entran en contacto con los individuos susceptibles a esta contaminación. Del mismo modo Li et al.⁽⁴⁰⁾ detallan en su revisión que metales como el litio, berilio, cadmio, mercurio, níquel, aluminio, arsénico, cobalto pueden encontrarse en vegetales que han sido cultivados cerca de lugares donde se disponen los desechos electrónicos. La autora menciona que se crea la cadena del contaminante - suelo - comida a través de una bioacumulación tóxica.

En la revisión bibliográfica de Pócsi et al.⁽⁴¹⁾ describen diferentes biomarcadores que están asociados al daño renal por el consumo de determinados alimentos que vehiculizan el cadmio. Desde el punto de vista nutricional, se evidenció que la disminución del consumo de arroz contaminado con cadmio hace que se excrete menos $\alpha 1$ -microglobulina, revirtiendo el daño renal. Por otro lado, cuando esta misma proteína aumenta en la orina, se ha asociado con un aumento del consumo de pescado contaminado con mercurio, determinando que este mismo metal en los individuos se puede encontrar en el pelo, piel y orina. Grant et al.⁽⁴²⁾ reportan que la carne y varias leguminosas también pueden ser importantes vehículos de estos contaminantes provenientes de los desechos electrónicos.

En la revisión de Rutela et al.⁽⁴³⁾ se describe que la leche materna en mujeres lactantes expuestas a bifenilos polibromados resultantes de la quema de los desechos electrónicos, puede contaminarse aumentando también el riesgo de contaminación en el neonato.

El estudio de Antuña et al.⁽⁴⁴⁾ reporta que las muestras de sangre analizadas mediante la tecnología ICP (Plasma Acoplado Inductivamente) permiten analizar un panel de minerales y metales, incluidos los de requerimiento nutricional y los metales pesados considerados tóxicos al mismo tiempo. De esta forma, se considera este procedimiento como válido para realizarlo periódicamente en individuos expuestos a desechos electrónicos para determinar deficiencias nutricionales de manera preventiva.

Tabla 1. Efecto de los desechos electrónicos en la nutrición, población infantil, embarazadas y entorno laboral

| Título | Autor y año | Población y país | Objetivo | Resultados y Conclusiones |
|--|--|---|--|---|
| Evidencia del efecto de los desechos electrónicos en el área de la nutrición | | | | |
| Los niveles en sangre de metales tóxicos y elementos de tierras raras que se encuentran comúnmente en los desechos electrónicos pueden ejercer efectos sutiles en la concentración de hemoglobina en inmigrantes subsaharianos | Henríquez-Hernández <i>et al.</i> (2017) ⁽²⁴⁾ | Muestras de sangre total de inmigrantes subsaharianos con anemia (n=63) y sin anemia (n=78). España | Determinar mediante ICP-MS en muestras de sangre 48 elementos de desechos electrónicos provenientes de inmigrantes subsaharianos con anemia (n = 63) y sin anemia (n = 78). | Los niveles de hierro, cromo, cobre, manganeso, molibdeno fueron significativamente más altos en el grupo control que en el grupo con anemia. Las personas con anemia también tenían niveles más altos de elementos relacionados con los desechos electrónicos. Los elementos se correlacionaron inversamente con los niveles de hierro en sangre. |
| Estado de los micronutrientes de los recicladores de desechos electrónicos en Agbogbloshie, Ghana | Takyi <i>et al.</i> (2020) ⁽²⁵⁾ | n=151 participantes (100 recicladores de desechos electrónicos en Agbogbloshie y 51 controles). En Madina Zongo de la región de Accra. Ghana. | Evaluar el estado de micronutrientes de los recicladores de desechos electrónicos utilizando información dietética y datos de biomarcadores. | Excepto por los bajos niveles de Hierro y Magnesio detectados en la sangre de los recicladores de desechos electrónicos, todos los demás micronutrientes medidos tanto en la sangre como en la orina de ambos grupos se encontraban dentro de su rango de referencia. La exposición a la quema de biomasa se asoció con niveles sanguíneos más bajos de Fe, Mg y Zn entre los recicladores de desechos electrónicos. |
| La ingesta dietética rica en micronutrientes se asocia con una reducción de los efectos de las partículas en la presión arterial entre los recicladores de desechos electrónicos en Agbogbloshie, Ghana | Takyi <i>et al.</i> (2020). ⁽²⁶⁾ | N=142 trabajadores de desechos electrónicos de Agbogbloshie y 65 recicladores de desechos no electrónicos (de Madina Zongo) Ghana. | Investigar si la ingesta de dietas ricas en micronutrientes mejora los efectos adversos de la exposición ambiental a desechos de biomasa sobre la presión arterial (PA). | La ingesta dietética adecuada y constante de Fe se asoció con efectos reducidos de liberación de material particulado en la Presión Arterial Sistólica (PAS) de los recicladores de desechos electrónicos en horas extras. |
| Evidencia del efecto de los desechos electrónicos en la población pediátrica y mujeres embarazadas | | | | |
| Evaluación proteómica del tejido del cordón umbilical humano expuesto a éteres de difenilo polibromados en un área de reciclaje de desechos electrónicos | Li <i>et al.</i> (2018) ⁽²⁸⁾ | N= 300 productos de mujeres embarazadas Guiyu, China | Examinar los perfiles de proteínas expresados diferencialmente en el tejido del cordón umbilical, derivados de madres expuestas a difenilo polibromados (PBDE), e investigar biomarcadores candidatos para revelar los mecanismos moleculares subyacentes. | Las proteínas expresadas diferencialmente estaban involucradas principalmente en la defensa antioxidante, la apoptosis, la estructura celular y el metabolismo. Entre ellas, disminuyeron la expresión de la catalasa, el glutatión, la S-transferasa omega-1, mientras aumentó el citocromo C. Estos resultados sugieren que hubo un desequilibrio antioxidante y la apoptosis celular en el cordón umbilical después de la exposición a difenilo polibromados (PBDE) que están asociados con los resultados del parto neonatal. |
| Disminución de la función pulmonar con la mediación de parámetros sanguíneos relacionados con la exposición al plomo y cadmio de desechos electrónicos en niños en edad preescolar | Zeng <i>et al.</i> (2017) ⁽²⁹⁾ | N= 206 niños de edad preescolar Guiyu, China | Investigar la contribución de los metales pesados en sangre y los niveles de función pulmonar, y la relación entre el área de vivienda, los niveles de parámetros sanguíneos y los niveles de función pulmonar. | Se concluyó que los niños que viven en áreas expuestas a desechos electrónicos tienen niveles más altos de plomo, cadmio y plaquetas en sangre, y niveles más bajos de hemoglobina y función pulmonar. La hemoglobina puede ser un buen predictor de los niveles de función pulmonar. |

| | | | | |
|--|--|---|---|---|
| El perímetro torácico y el peso al nacer son buenos predictores de la función pulmonar en preescolares de un área de reciclaje de desechos electrónicos | Zeng <i>et al.</i> (2017) ⁽³⁰⁾ | N= 206 niños Guiyu, China. | Investigar las asociaciones entre el peso al nacer, la circunferencia del pecho y la función pulmonar en niños en edad preescolar del área de exposición a desechos electrónicos. | Tanto el análisis de Spearman como el de correlación parcial mostraron que el peso al nacer y el perímetro torácico se correlacionaron positivamente con los niveles de función pulmonar, incluida la capacidad vital forzada (FVC) y el volumen espiratorio forzado en 1 s (FEV ₁). Después del ajuste de los posibles factores de confusión en análisis de regresión lineal adicionales, el peso al nacer y la circunferencia torácica se asociaron positivamente con los niveles de función pulmonar, respectivamente. |
| Efecto de la exposición al plomo de los desechos electrónicos en la síntesis de hemoglobina en niños | Wang <i>et al.</i> (2021) ⁽³¹⁾ | N= 224 niños Guiyu, China | Evaluar el efecto de la exposición a desechos electrónicos en la síntesis de hemoglobina (Hb) en niños en edad preescolar | La exposición al plomo inhibe más significativamente la síntesis de Hb en los niños que viven en áreas de desmantelamiento de desechos electrónicos que en aquellos que viven en áreas sin desmantelamiento de desechos electrónicos. Otras toxinas liberadas por los desechos electrónicos también pueden contribuir a la inhibición de la síntesis de hemoglobina y pueden provocar anemia en los niños locales. |
| Alteraciones de la microbiota intestinal y la metabolómica en niños expuestos a plomo en residuos electrónicos | Zeng <i>et al.</i> (2022) ⁽³²⁾ | N= 70 niños Guiyu, China. | Estudiar cómo la exposición al plomo puede alterar la composición y los metabolitos de la microbiota intestinal. | La exposición al plomo causó las diferencias más significativas en microbiota, metabolitos y parámetros de desarrollo físico entre los dos grupos en términos de microbiota, metabolitos e indicadores de desarrollo físico. El metabolismo de los esfingolípidos y el transporte de iones también pueden verse alterados por la exposición al plomo. |
| Concentraciones sanguíneas de plomo, cadmio, mercurio y su asociación con biomarcadores de daño oxidativo del ADN en niños preescolares que viven en un área de reciclaje de desechos electrónicos | Xu <i>et al.</i> (2018) ⁽³³⁾ | N=118 niños Guiyu, China. | Investigar la influencia de la exposición conjunta de plomo, cadmio y mercurio en los niveles de ARNm de 8-hidroxidesoxiguanosina (8-OHdG) y la enzima reparadora humana 8-oxoguanina ADN glicosilasa (hOGG1) en niños expuestos para evaluar el desequilibrio del daño y la reparación del ADN | El 88,14 % (104/118) tenían un nivel de plomo en sangre >5 µg/dL, 22. El 3 % (26/118) tenía un nivel de cadmio en sangre >1 µg/dL y el 62,11 % (59/95) tenía un nivel de mercurio en sangre >10 µg/dL. Tener un taller de desechos electrónicos cerca de la casa era un factor de riesgo que contribuía a niveles elevados de plomo en sangre (rs= 0,273, p < 0,01), mientras que la exposición a cadmio y mercurio podría provenir de otras fuentes contaminantes. |
| Disminución de los títulos de anticuerpos de la vacuna después de la exposición a múltiples metales y metaloides en niños en edad preescolar expuestos a desechos electrónico | Lin <i>et al.</i> (2017) ⁽³⁴⁾ | N= 284 niños en edad preescolar Guiyu, China | Medir medimos las concentraciones de varios metales pesados y metaloides, y los niveles de anticuerpos contra los agentes vacunados, incluidos la difteria, la tos ferina, el tétanos, la hepatitis B, la encefalitis japonesa, la poliomielitis y el sarampión, en niños de 3 a 7 años. | El grupo expuesto a los desechos electrónicos tenía niveles más altos de plomo, manganeso, cobre, zinc y cromo en sangre en comparación con el grupo de referencia (P<0,05). Los niveles de todos los anticuerpos de la vacuna en el grupo expuesto fueron significativamente más bajos que en el grupo de referencia (P <0,01). |
| Exposición crónica a metales pesados de plantas informales de reciclaje de desechos electrónicos y atención, función ejecutiva y rendimiento académico de los niños | Soetrisno <i>et al.</i> (2020) ⁽³⁵⁾ | N= 44 niños Bogor, Indonesia. | Caracterizar las concentraciones de metales pesados en el suelo, el agua y el cabello de los niños en las zonas aledañas a Yakarta, donde se llevan a cabo o se han llevado a cabo desechos electrónicos. | Las concentraciones de metales pesados en el cabello de los niños que vivían cerca de instalaciones de desechos electrónicos fueron más altas que las de los niños que vivían en áreas no expuestas (plomo: 0,155±0,187 frente a 0,0729±0,08 mg/g; manganeso: 0,130±0,212 frente a 0,018±0,045 mg/g; mercurio: 0,008±0,0042 vs 0,002±0,0011 mg/g) sugiriendo exposición crónica a metales pesados. |

| | | | | |
|---|--|--|---|--|
| Niveles de cadmio en la orina materna durante el embarazo asociados con el riesgo de resultados de parto dependientes del sexo de un sitio de contaminación de desechos electrónicos en China | Zhang <i>et al.</i> (2017) ⁽³⁶⁾ | 237 parejas de madres y recién nacidos del municipio de Guiyu (área de reciclaje de desechos electrónicos) y 212 parejas de madres y recién nacidos del distrito de Haojiang. | Investigar si la exposición a cadmio durante el embarazo está asociada con un mayor riesgo de resultados adversos en el parto de una manera dependiente del sexo. | Se encontraron asociaciones inversas significativas entre las concentraciones maternas de cadmio y la antropometría al nacer en los neonatos femeninos, pero no se observaron asociaciones significativas en los neonatos masculinos, excepto en la puntuación de Apgar (1 min), sugiriendo que podría haber diferencias sexuales tanto en la absorción como en el metabolismo de cadmio. y los resultados adversos del parto puede ser específicos del sexo. |
| China. | | | | |
| Evidencia del efecto de los desechos electrónicos en el entorno laboral | | | | |
| Problemas de salud percibidos y manifestados entre los manipuladores informales de desechos electrónicos: una revisión de alcance. | Mishra. (2019) ⁽³⁷⁾ | N= 10 estudios | Analizar los estudios sobre la base de los síntomas/problemas de salud entre los trabajadores con desechos electrónicos. | Los estudios destacan una amplia gama de problemas de salud experimentados por los trabajadores de desechos electrónicos en diferentes entornos. Se encontraron problemas de salud principalmente lesiones físicas, respiratorios, dermatológicos y musculoesqueléticos. |
| Impactos ambientales y de salud debido a la eliminación de desechos electrónicos en China: una revisión | Li <i>et al.</i> (2020) ⁽³⁸⁾ | | Documentar las amenazas peligrosas para el medio ambiente y la salud humana. | Se documentaron las amenazas para el medio ambiente y la salud humana debido a las sustancias peligrosas de los desechos electrónicos en toda China, así como la gestión actual de desechos electrónicos. |
| Éteres de difenilo polibromados en productos plásticos, polvo interior, sedimentos y peces de sitios informales de reciclaje de desechos electrónicos en Vietnam: una evaluación integral de la contaminación, el patrón de acumulación, las emisiones y la exposición humana | Anh <i>et al.</i> (2016) ⁽³⁹⁾ | Piezas de plástico se recogieron aleatoriamente en familias del pueblo de Bui Dau, provincia de Hung yen, además de polvo doméstico, sedimentos y peces. | Crear un patrón de acumulación, potencial de emisión y exposición humana a través de la ingestión de polvo y el consumo de pescado. | El estudio muestra los primeros datos que evalúan la contaminación, el patrón de acumulación y la exposición humana a los PBDE en diferentes tipos de muestras, desde muestras de plástico como fuente hasta el medio ambiente receptor, como el polvo de interiores, los sedimentos y la biota de los sitios informales de reciclaje de desechos electrónicos en Vietnam. Los resultados indican niveles más altos de PBDE en polvo, sedimentos y muestras de peces que en otros lugares. |
| Niveles de exposición humana de PAE en un área de reciclaje de desechos electrónicos: obtenga información sobre los impactos de la variación espacial y el modo de manipulación. | Li <i>et al.</i> (2019) ⁽⁴⁰⁾ | 157 muestras de orina, distribuidas: 117 muestras de orina de empleados en ZCEP, 17 muestras de orina de residentes en la ciudad de Ziya (a 7 km de ZCEP) y 23 muestras de orina de residentes | Determinar los niveles de exposición humana a los PAE en un área de reciclaje de desechos electrónicos (Ziya Circular Economy Park (ZCEP) en Tianjin, China). | Los éteres de ácido ftálico (PAE) se detectaron ampliamente en muestras de orina (mPAE) de empleados y residentes en y cerca de un área de reciclaje de desechos electrónicos. Se confirmó que el reciclaje de desechos electrónicos agravó la exposición de los empleados a los PAE. |
| Biomarcadores nefrotóxicos con indicaciones específicas para contaminantes metálicos: implicaciones para la salud ambiental. | Pócsi <i>et al.</i> (2022) ⁽⁴¹⁾ | Revisión bibliografía. Hungria | Establecer marcadores urinarios importantes como herramientas potenciales para identificar la exposición ambiental a algunos contaminantes metálicos clave. | Los investigadores señalan que se requieren mejores biomarcadores de exposición a nefrotoxinas, marcadores de daño temprano para diagnóstico y prevención. Los componentes de desechos electrónicos, como cadmio y plomo son considerados nefrotoxinas que se dirigen a los túbulos proximales renales a través de distintas vías, por lo que es importante monitorear la salud de las personas que están expuestas. |

| | | | | |
|--|--|---|--|--|
| Consecuencias para la salud de la exposición a los desechos electrónicos: una revisión sistemática | Grant <i>et al.</i> (2021) ⁽⁴²⁾ | N= 23 estudios | Resumir la evidencia de la asociación entre dichas exposiciones y los resultados adversos para la salud. | La revisión identificó resultados adversos para la salud en relación con la exposición a desechos electrónicos Algunos estudios han encontrado relación entre la exposición química de los desechos electrónicos y la respuesta inmunitaria suprimida, pérdida de la audición, función hepática y renal alterada, disminución de la capacidad antiinflamatoria oral. |
| Gestión de residuos electrónicos y sus efectos en el medio ambiente y la salud humana. | Rautela <i>et al.</i> (2021) ⁽⁴³⁾ | Revisión bibliográfica India | Estimar los desafíos en el contexto de protocolos de reciclaje inadecuados de desechos electrónicos y sus efectos tóxicos en la salud humana y el medio ambiente. | El efecto tóxico de los desechos electrónicos para la salud humana y el medio ambiente se estudia exhaustivamente Se ha articulado un enfoque sostenible para la gestión eficaz de los desechos electrónicos. La formalización del sector informal es crucial para impulsar una gestión eficaz de los desechos electrónicos. |
| Cuantificación simultánea de 49 elementos asociados a e-waste en sangre humana por ICP-MS para análisis de rutina. | Antuña et al. (2017) ⁽⁴⁴⁾ | Alícuotas de un material de sangre humana con una concentración conocida de varios elementos. | Desarrollar un método fácil, rápido y robusto para la cuantificación de 49 elementos asociados a productos electrónicos de consumo y sus desechos electrónicos en sangre humana. | Se desarrollo y valido un método rápido, sencillo y robusto para la determinación de los principales elementos asociados a los residuos electrónicos en sangre humana, aplicable a análisis rutinarios en estudios de biomonitorio. |

DISCUSIÓN

El creciente problema de los desechos electrónicos toma cada vez auge en el campo biomédico ⁽⁴⁵⁾ y se suma a los problemas de salud pública que afectan a la población especialmente los recicladores; debido al tiempo de permanencia de los metales pesados y moléculas tóxicas en el ambiente, lo que hace que se incremente sustancialmente su concentración, derivando a un mayor contacto con el humano, perjudicando directamente su salud. El manejo de desechos electrónicos se considera una actividad del sector informal generalmente en países de ingresos bajos y medianos, por lo que se asocia con la población que se encuentra en el extremo inferior de la escala económica y cuya ingesta dietética probablemente no tenga proporcione los micronutrientes esenciales. ⁽⁴⁶⁾ Si bien es cierto que se ha identificado que la nutrición desempeña un papel de mitigación al reducir los efectos de estos contaminantes en la salud metabólica, no se conoce a ciencia cierta el estado de los macronutrientes de estos recicladores de desechos electrónicos.

Uno de los aspectos más relevantes de esta revisión es la evidencia de la amplia afectación al estado de salud de los recicladores de desechos electrónicos, con especial énfasis en niños y mujeres embarazadas, además de señalar como estos desechos electrónicos pueden influir en la salud metabólica y nutricional. Es conocido que en la fabricación de dispositivos se emplean diversos elementos de tierras raras y minerales menores, por lo cual estos elementos aparecen como contaminantes emergentes en diferentes zonas geográficas. ⁽⁴⁷⁾

Es importante el consumo de alimentos con alto contenido de micronutrientes como calcio, magnesio, hierro, cobre, zinc y selenio, los cuales resultan esenciales para el desempeño de las funciones biológicas normales. Se ha descrito que en presencia de déficit de micronutrientes que puede asociarse a una precaria alimentación; además, pueden presentarse problemas de salud como la anemia, hipertensión, diabetes y otras deficiencias fisiológicas. ⁽⁴⁸⁾ Los metales tóxicos como el cadmio, el arsénico y el plomo promueven la deficiencia de micronutrientes agravando la toxicidad de los metales. Los metales tóxicos pueden interactuar con los micronutrientes en la sangre, provocando el desplazamiento y la excreción de los micronutrientes en la orina, ⁽⁴⁹⁾ heces ⁽⁵⁰⁾ y sudor, ⁽⁵¹⁾ aumentando la predisposición a enfermedades crónicas.

Los resultados presentados muestran la necesidad imperativa de realizar una mayor cantidad de estudios que permitan conocer la situación real de los recicladores de desechos electrónicos y las comunidades cercanas, en los cuales se evidencie el impacto a su salud a corto y largo plazo, debido a la presencia de altas concentraciones de plomo, mercurio, éteres de difenilo polibromados (PBDE) entre otros.

A pesar de las crecientes preocupaciones sobre los riesgos para la salud en estas comunidades, ningún estudio ha evaluado con toda certeza el estado nutricional de los recicladores de desechos electrónicos. Siendo esta evaluación muy necesaria para ampliar el conocimiento que se tiene de la salud de este grupo y los riesgos para la salud relacionados con el medio ambiente debido a la exposición directa a sustancias tóxicas, ⁽²⁵⁾ además resultaría interesante fomentar estudios en los cuales se realice intervención nutricional y seguimiento de los pacientes, a fin de tener un panorama más amplio.

Por último, la presente revisión tuvo como limitación el hecho de que no se encontró ningún estudio *in vitro* o *in vivo* donde se observara la competencia en la biodisponibilidad de los metales con otros micronutrientes o la afectación de vías celulares en cultivos de células. Los estudios que hasta el momento están disponibles son de carácter observacional y analíticos donde solo se han establecido correlaciones y perfiles proteómicos que pueden inferir determinadas vías celulares. Sobre todo, falta conocer el estado de otros micronutrientes como las vitaminas o ácidos grasos esenciales.

CONCLUSIONES

Un inadecuado descarte de desechos electrónicos y la exposición durante un tiempo prolongado genera complicaciones metabólicas y manifestación fisiopatológica que ocasiona la acumulación de diferentes compuestos que fueron abordados en el presente estudio. El principal metabolismo afectado es el hierro; y, por ende, la síntesis de hemoglobina. De igual manera se vio afectada la glicemia, los sistemas de reparación del daño oxidativo, y las respuestas celulares ante la apoptosis.

Este panorama conlleva a analizar el hecho que toda persona expuesta a desechos electrónicos, o que desempeñe labor como reciclador, representa un factor de riesgo para desarrollar una deficiencia nutricional, poniendo de manifiesto que si el humano está expuesto a metales que no forman parte del requerimiento de ingesta diario puede traer severas consecuencias, además del colapso celular que sería el más evidente. Básicamente, el reto en el área de la nutrición es evidenciar, diagnosticar y determinar el estado carencial en los grupos vulnerables descritos. Posterior a ello, queda el vacío experimental para consensuar el protocolo del tratamiento nutricional en estos individuos en los que se han generado estados carenciales crónicos y fundamentalmente, a través de la educación nutricional, poder transmitir a aquellos grupos que son más propensos a desarrollar manifestaciones clínicas a corto o largo plazo, directrices de como poder combatir de la deficiencia nutricional por la exposición crónica a desechos electrónicos, además de todos los problemas de salud asociados a los e-waste. Por lo tanto, se necesitan publicaciones más extensas que los estudios mencionados en esta revisión.

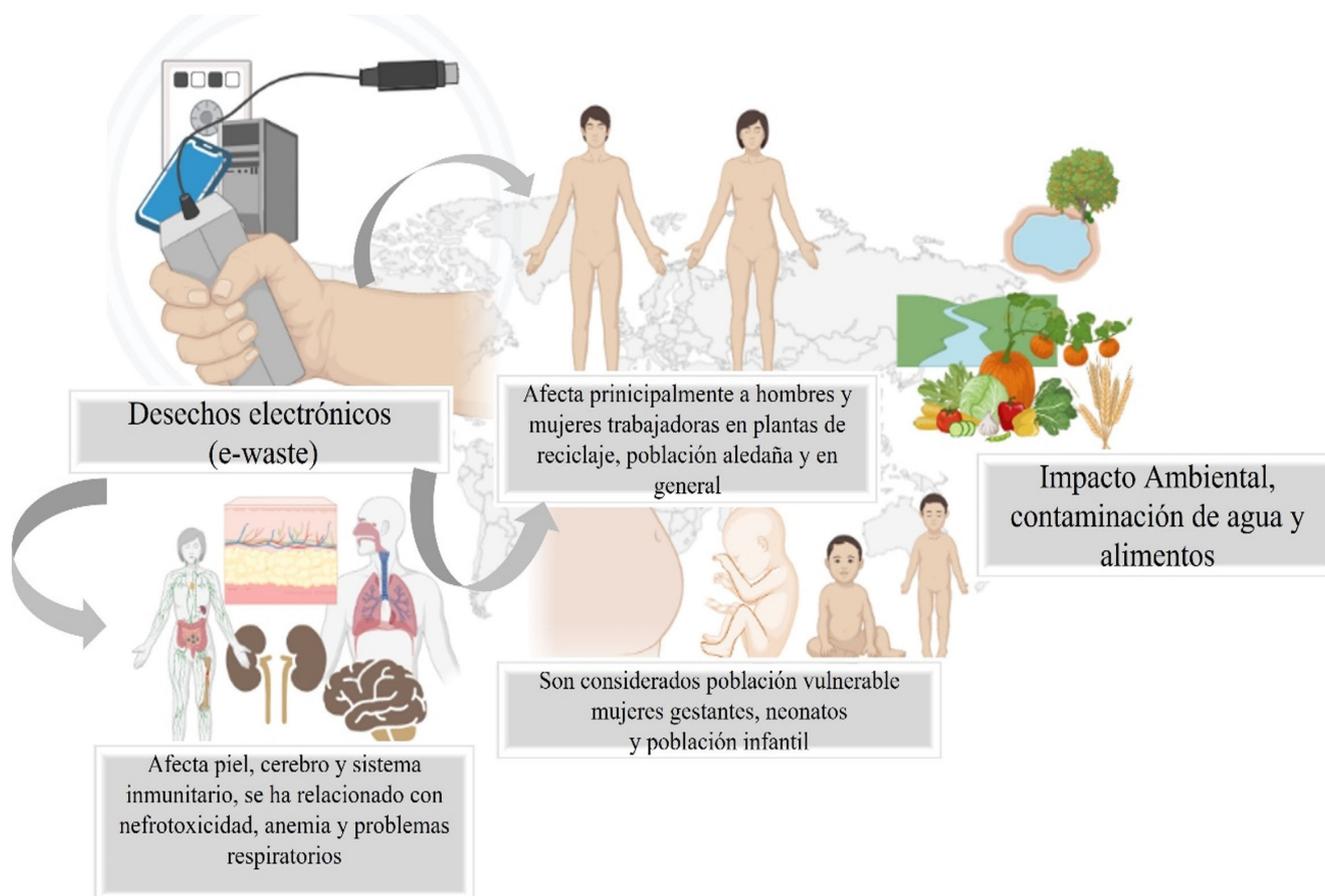


Figura 2. Impacto de los desechos electrónicos en población vulnerable. Castro y Cols 2024. Creado mediante la herramienta BioRender.com.

Se conoce que muchos de los metales pesados y moléculas tóxicas se almacenan en el tejido adiposo o en el tejido tegumentario estableciendo largos plazos de quedar almacenados los componentes derivados de los desechos electrónicos. Es ampliamente reconocido que una variedad de metales pesados y moléculas tóxicas tienden a acumularse en el tejido adiposo y tegumentario. Estos compuestos, frecuentemente originados de desechos electrónicos, pueden persistir por períodos prolongados dentro de estos tejidos, lo que representa una preocupación significativa para la salud pública y el medio ambiente

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Becerra DK, Hernández A, Díaz EB, Cedano KG, Martínez H. Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE): Impacto social, ambiental, gestión y metodologías sobre su manejo. ENERLAC. [Internet]. 2020 [citado el 22 de enero de 2024]; 4(2):108-31. Disponible en: <https://enerlac.olade.org/index.php/ENERLAC/article/view/127>
2. Okeme JO, Arrandale VH. Electronic Waste Recycling: Occupational Exposures and Work-Related Health Effects. *Curr Environ Health Rep.* [Internet]. 2019 [citado el 22 de enero de 2024]; 6(4):256-268. doi: 10.1007/s40572-019-00255-3
3. Orish Ebere Orisakwe, Chiara Frazzoli, Cajetan Elochukwu Ilo, Benjamin Oritsemuelebi; Carga de salud pública de los electrónicos en Africa. *Rev Salud y Contaminación.* [Internet]. 2019 [citado el 22 de enero de 2024]; 9(22):190610. doi: <https://doi.org/10.5696/2156-9614-9.22.190610>
4. Ji X, Yang M, Wan A, Yu S, Yao Z. Bioleaching of Typical Electronic Waste-Printed Circuit Boards (WPCBs): A Short Review. *Int J Environ Res Public Health.* [Internet]. 2022 [citado el 22 de enero de 2024]; 19(12):7508. doi: 10.3390/ijerph19127508
5. Aristizábal-Alzate CE, González-Manosalva JL, Vargas AF. Revalorización de residuos de equipos eléctricos y electrónicos en Colombia: una alternativa para la obtención de metales preciosos y metales para la industria. *TecnoLógicas.* [Internet]. 2021 [citado el 22 de enero de 2024]; 24(51),186-205. <https://doi.org/10.56294/saludcyt2024.591>

org/10.22430/22565337.1740

6. Issah I, Arko-Mensah J, Agyekum TP, Dwomoh D, Fobil JN. Electronic waste exposure and DNA damage: a systematic review and meta-analysis. *Rev Environ Health*. [Internet]. 2021 [citado el 22 de enero de 2024]; 29;38(1):15-31. doi: 10.1515/reveh-2021-0074
7. Roy H, Rahman TU, Suhan MBK, Al-Mamun MR, Haque S, Islam MS. A comprehensive review on hazardous aspects and management strategies of electronic waste: Bangladesh perspectives. *Heliyon*. [Internet]. 2022 [citado el 30 de enero de 2024]; 8(7):e09802. doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e09802
8. Zambrano CA, Macías JC, Medina ND. Buenas prácticas en el manejo de residuos electrónicos en América Latina. *Rev Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*. [Internet]. 2022 [citado el 30 de enero de 2024]; 10(1):64-80. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2308-01322022000100005
9. Pascuas Y, Correa L, Marlés C. Residuos electrónicos: análisis de las implicaciones socioambientales y alternativas frente al metabolismo urbano. *Ciencia, docencia y tecnología*. [Internet]. 2018 [citado el 30 de enero de 2024]; 29(56):242-252. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-17162018000100011
10. Priya A, Hait S. Comparative assessment of metallurgical recovery of metals from electronic waste with special emphasis on bioleaching. *Environ Sci Pollut Res Int*. [Internet]. 2017 [citado el 30 de enero de 2024]; 24(8):6989-7008. doi: 10.1007/s11356-016-8313-6
11. Peecher JS, Schecter AJ, Lu H, Quynh HT, Stromberg A, Weng J, Crandall R, Birnbaum LS. Biomonitoring of Polybrominated Dioxins & Furans, Polychlorinated Dioxins & Furans, and Dioxin Like Polychlorinated Biphenyls in Vietnamese Female Electronic Waste Recyclers. *J Occup Environ Med*. [Internet]. 2022 [citado el 30 de enero de 2024]; 64(9):742-747. doi: 10.1097/JOM.0000000000002506
12. Rocha-Gutiérrez Beatriz Adriana, Peralta-Pérez María del Rosario, Zavala-Díaz de la Serna Francisco Javier. Revisión global de los contaminantes emergentes PBDE y el caso particular de México. *Rev. Int. Contam. Ambient*. [Internet]. 2018 [citado el 30 de enero de 2024]; 31(3):311-320. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992015000300010&lng=es
13. Kim SS, Xu X, Zhang Y, Zheng X, Liu R, Dietrich KN, Reponen T, Xie C, Sucharew H, Huo X, Chen A. Birth outcomes associated with maternal exposure to metals from informal electronic waste recycling in Guiyu, China. *Environ Int*. [Internet]. 2020 [citado el 30 de enero de 2024]; 137:105580. doi: 10.1016/j.envint.2020.105580
14. World Health Organization (WHO). Soaring e-waste affects the health of millions of children, WHO warns. 2021. Disponible: <https://www.who.int/es/news/item/15-06-2021-soaring-e-waste-affects-the-health-of-millions-of-children-who-warns>
15. Quiroga D, Fernández R, Paris E. Salud Ambiental Infantil : manual para enseñanza de grado en escuelas de medicina. Ministerio de Salud de la Nación. Organización Panamericana de la Salud 2010. 1a ed. Buenos Aires. Disponible: <https://bancos.salud.gob.ar/sites/default/files/2018-10/0000000271cnt-s12-manual-universitario-salud-ambiental-infantil.pdf>
16. Orisakwe OE, Frazzoli C, Ilo CE, Oritsemuelebi B. Public Health Burden of E-waste in Africa. *J Health Pollut*. [Internet]. 2019 [citado el 30 de enero de 2024]; 9(22):190610. doi: 10.5696/2156-9614-9.22.190610
17. Grant K, Goldizen FC, Sly PD, Brune MN, Neira M, van den Berg M, Norman RE. Health consequences of exposure to e-waste: a systematic review. *Lancet Glob Health*. [Internet]. 2013 [citado el 30 de enero de 2024]; 1(6):e350-61. doi: 10.1016/S2214-109X(13)70101-3
18. Saha L, Kumar V, Tiwari J, Rawat S, Singh J, Bauddh K. Electronic waste and their leachates impact on human health and environment: Global ecological threat and management. *Enviro Technol Innov*. [Internet]. 2021 [citado el 30 de enero de 2024]; 24,102049. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102049>
19. Lebbie TS, Moyebi OD, Asante KA, Fobil J, Brune-Drisse MN, Suk WA, Sly PD, Gorman J, Carpenter DO. E-Waste in Africa: A Serious Threat to the Health of Children. *Int J Environ Res Public Health*. [Internet]. 2021

[citado el 09 de febrero de 2024]; 18(16):8488. doi: 10.3390/ijerph18168488

20. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*. [Internet]. 2021 [citado el 09 de febrero de 2024]; 372:71. <https://doi.org/10.1186/s13643-021-01626-4>

21. Wachinou AP, Kêdoté NM, Padonou G, Adè S, Darboux J, Tohi M, et al. Respiratory Disorders Related to e-Waste Exposure among Workers in the Informal Sector in a Sub-Saharan African City: An Exposed Nonexposed Study. *Pulm Med*. [Internet]. 2022 [citado el 09 de febrero de 2024]; 24:9968897. doi: 10.1155/2022/9968897

22. Chen A, Dietrich KN, Huo X, Ho SM. Developmental neurotoxicants in e-waste: an emerging health concern. *Environ Health Perspect*. [Internet]. 2011 [citado el 09 de febrero de 2024]; 119(4):431-8. doi: 10.1289/ehp.1002452

23. Yan X, Li SY, Wang MH, Xu RF, Zheng J, Ren MZ. [Liver and Kidney Function of E-waste Dismantling Workers and Potential Influencing Factors]. *Huan Jing Ke Xue*. [Internet]. 2018 [citado el 09 de febrero de 2024]; 39(2):953-960. doi: 10.13227/j.hjkk.201708101

24. Henríquez-Hernández LA, Boada LD, Carranza C, Pérez-Arellano JL, González-Antuña A, Camacho M, et al. Blood levels of toxic metals and rare earth elements commonly found in e-waste may exert subtle effects on hemoglobin concentration in sub-Saharan immigrants. *Environ Int*. [Internet]. 2017 [citado el 09 de febrero de 2024]; 109:20-28. doi: 10.1016/j.envint.2017.08.023

25. Takyi SA, Basu N, Arko-Mensah J, Dwomoh D, Nti AAA, Kwarteng L, et al. Micronutrient Status of Electronic Waste Recyclers at Agbogbloshie, Ghana. *Int J Environ Res Public Health*. [Internet]. 2020 [citado el 09 de febrero de 2024]; 17(24):9575. doi: 10.3390/ijerph17249575

26. Takyi SA, Basu N, Arko-Mensah J, Botwe P, Amoabeng Nti AA, Kwarteng L, et al. Micronutrient-rich dietary intake is associated with a reduction in the effects of particulate matter on blood pressure among electronic waste recyclers at Agbogbloshie, Ghana. *BMC Public Health*. [Internet]. 2020 [citado el 09 de febrero de 2024]; 20(1):1067. doi: 10.1186/s12889-020-09173-8

27. Dawud F, Takyi SA, Arko-Mensah J, Basu N, Egbi G, Ofori-Attah E, et al. Relación entre la exposición a metales, la ingesta dietética de macronutrientes y los niveles de glucosa en sangre de recicladores informales de desechos electrónicos en Ghana. En t. *J. Medio Ambiente. Res. Salud Pública*. [Internet]. 2022 [citado el 09 de febrero de 2024]; 19:12768. doi: 10.3390/ijerph191912768

28. Li M, Huo X, Pan Y, Cai H, Dai Y, Xu X. Proteomic evaluation of human umbilical cord tissue exposed to polybrominated diphenyl ethers in an e-waste recycling area. *Environ Int*. [Internet]. 2018 [citado el 09 de febrero de 2024]; 111:362-371. doi: 10.1016/j.envint.2017.09.016

29. Zeng X, Xu X, Boezen HM, Vonk JM, Wu W, Huo X. Decreased lung function with mediation of blood parameters linked to e-waste lead and cadmium exposure in preschool children. *Environ Pollut*. [Internet]. 2017 [citado el 09 de febrero de 2024]; 230:838-848. doi: 10.1016/j.envpol.2017.07.014

30. Zeng X, Xu X, Zhang Y, Li W, Huo X. Chest circumference and birth weight are good predictors of lung function in preschool children from an e-waste recycling area. *Environ Sci Pollut Res Int*. [Internet]. 2017 [citado el 23 de febrero de 2024]; 24(28):22613-22621. doi: 10.1007/s11356-017-9885-5

31. Wang H, Huang P, Zhang R, Feng X, Tang Q, Liu S, et al. Effect of lead exposure from electronic waste on haemoglobin synthesis in children. *Int Arch Occup Environ Health*. [Internet]. 2021 [citado el 23 de febrero de 2024]; 94(5):911-918. doi: 10.1007/s00420-020-01619-1

32. Zeng X, Zeng Z, Wang Q, Liang W, Guo Y, Huo X. Alterations of the gut microbiota and metabolomics in children with e-waste lead exposure. *J Hazard Mater*. [Internet]. 2022 [citado el 23 de febrero de 2024]; 15;434:128842. doi: 10.1016/j.jhazmat.2022.128842

33. Xu X, Liao W, Lin Y, Dai Y, Shi Z, Huo X. Blood concentrations of lead, cadmium, mercury and their association with biomarkers of DNA oxidative damage in preschool children living in an e-waste recycling area.

Environ Geochem Health. [Internet]. 2018 [citado el 23 de febrero de 2024]; 40(4):1481-1494. doi: 10.1007/s10653-017-9997-3

34. Lin X, Xu X, Zeng X, Xu L, Zeng Z, Huo X. Decreased vaccine antibody titers following exposure to multiple metals and metalloids in e-waste-exposed preschool children. Environ Pollut. [Internet]. 2017 [citado el 23 de febrero de 2024]; 220:354-363. doi: 10.1016/j.envpol.2016.09.071

35. Soetrisno FN, Delgado-Saborit JM. Chronic exposure to heavy metals from informal e-waste recycling plants and children's attention, executive function and academic performance. Sci Total Environ. [Internet]. 2020 [citado el 23 de febrero de 2024]; 15;717:137099. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137099. Epub 2020 Feb 4. PMID: 32092800.

36. Zhang Y, Xu X, Chen A, Davuljigari CB, Zheng X, Kim SS, et al. Maternal urinary cadmium levels during pregnancy associated with risk of sex-dependent birth outcomes from an e-waste pollution site in China. Reprod Toxicol. [Internet]. 2018 [citado el 23 de febrero de 2024]; 75:49-55. doi: 10.1016/j.reprotox.2017.11.003

37. Mishra S. Perceived and Manifested Health Problems among Informal E-waste Handlers: A Scoping Review. Indian J Occup Environ Med. [Internet]. 2019 [citado el 05 de abril de 2024]; 23(1):7-14. doi: 10.4103/ijoem.IJOEM_231_18

38. Li W, Achal V. Environmental and health impacts due to e-waste disposal in China - A review. Sci Total Environ. [Internet]. 2020 [citado el 05 de abril de 2024]; 737:139745. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139745

39. Anh HQ, Nam VD, Tri TM, Ha NM, Ngoc NT, Mai PTN, Anh DH, Minh NH, Tuan NA, Minh TB. Polybrominated diphenyl ethers in plastic products, indoor dust, sediment and fish from informal e-waste recycling sites in Vietnam: a comprehensive assessment of contamination, accumulation pattern, emissions, and human exposure. Environ Geochem Health. [Internet]. 2017 [citado el 05 de abril de 2024]; 39(4):935-954. doi: 10.1007/s10653-016-9865-6

40. Li X, Duan Y, Sun H, Zhang P, Xu J, Hua X, et al. Human exposure levels of PAEs in an e-waste recycling area: Get insight into impacts of spatial variation and manipulation mode. Environ Int. [Internet]. 2019 [citado el 05 de abril de 2024]; 133:105143. doi: 10.1016/j.envint.2019.105143

41. Pócsi I, Dockrell ME, Price RG. Nephrotoxic Biomarkers with Specific Indications for Metallic Pollutants: Implications for Environmental Health. Biomark Insights. [Internet]. 2022 [citado el 05 de abril de 2024]; 17:11772719221111882. doi: 10.1177/11772719221111882

42. Grant K, Goldizen FC, Sly PD, Brune MN, Neira M, van den Berg M, et al. Health consequences of exposure to e-waste: a systematic review. Lancet Glob Health. [Internet]. 2013 [citado el 05 de abril de 2024]; 1(6):e350-61. doi: 10.1016/S2214-109X(13)70101-3

43. Rautela R, Arya S, Vishwakarma S, Lee J, Kim KH, Kumar S. E-waste management and its effects on the environment and human health. Sci Total Environ. [Internet]. 2021 [citado el 05 de abril de 2024]; 773:145623. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.145623

44. Antuña A, Camacho M, Henríquez-Hernández LA, Boada LD, Almeida-González M, Zumbado M, Luzardo OP. Simultaneous quantification of 49 elements associated to e-waste in human blood by ICP-MS for routine analysis. MethodsX. [Internet]. 2017 [citado el 05 de abril de 2024]; 4:328-334. doi: 10.1016/j.mex.2017.10.001

45. Heacock M, Trottier B, Adhikary S, Asante KA, Basu N, Brune M.-N., et al. Estrategias de prevención e intervención para reducir la exposición a los desechos electrónicos. Rev. Medio Ambiente. Salud. [Internet]. 2018 [citado el 05 de abril de 2024]; 33:219-228. doi: 10.1515/reveh-2018-0014

46. Basu N, Ayelo PA, Djogbénu LS, Kedoté M, Lawin H, Tohon H, et al. Riesgos para la salud ocupacional y ambiental asociados con las actividades del sector informal: caso seleccionado Estudios de África Occidental. Nueva Solucion. A J. Medio ambiente. ocupar Política de Salud. [Internet]. 2016 [citado el 25 de abril de 2024]; 26:253-270. doi: 10.1177/1048291116651726

47. Takyi SA, Basu N, Arko-Mensah J, Dwomoh D, Nti AAA, Kwarteng L, Acquah AA, Robins TG, Fobil JN.

Micronutrient Status of Electronic Waste Recyclers at Agbogbloshie, Ghana. Int J Environ Res Public Health. [Internet]. 2020 [citado el 25 de abril de 2024]; 17(24):9575. doi: 10.3390/ijerph17249575

48. GBD 2017 Risk Factors Collaborators Evaluación de riesgo comparativa global, regional y nacional de 84 riesgos conductuales, ambientales, ocupacionales y metabólicos o grupos de riesgos, 1990-2016: un análisis sistemático para el Estudio de carga global de enfermedad 2016. Lancet. [Internet]. 2016 [citado el 25 de abril de 2024]; 390:1345-1422

49. Erickson AC, Arbor L. The shared pathoetiological effects of particulate air pollution and the social environment on fetal-placental development. J. Medio Ambiente. Salud pública. [Internet]. 2014 [citado el 25 de abril de 2024]; 2014:901017. doi: 10.1155/2014/901017

50. Miller CN, Rayalam S. El papel de los micronutrientes en la respuesta a los contaminantes del aire ambiental: Mecanismos potenciales y sugerencias para el diseño de la investigación. J. Toxicol. Reinar. Salud Parte B. [Internet]. 2017 [citado el 25 de abril de 2024]; 20:38-53. doi: 10.1080/10937404.2016.1261746

51. Hennig B., Ettinger AS, Jandacek RJ, Koo S., McClain C., Seifried H., Silverstone A., Watkins B., Suk WA Uso de la nutrición para la intervención y prevención contra la toxicidad química ambiental y enfermedades asociadas. Reinar. Perspectiva de Salud. [Internet]. 2007 [citado el 25 de abril de 2024]; 115:493-495. doi: 10.1289/ehp.9549

FINANCIACIÓN

Los autores no recibieron financiación para el desarrollo de la presente investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: Jazmín Elena Castro Jalca.

Análisis formal: Edwin Joao Merchán Carreño, Karina Virginia Mero Suárez, Maria Geomara Moreira.

Investigación: Maria Geomara Moreira.

Redacción - borrador original: Jazmín Elena Castro Jalca, Karina Virginia Mero Suárez, Edwin Joao Merchán Carreño.

Redacción - revisión y edición: Jazmín Elena Castro Jalca, Maria Geomara Moreira.