

CAPÍTULO 8. LOS EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN POR PLOMO. HACIA UNA CULTURA DE PREVENCIÓN Y SALUD

Avance de investigación

Saribel Zilli Gutiérrez

Leticia Guadalupe Navarro Moreno

Universidad del Papaloapan

Resumen

El plomo es un elemento químico contaminante del ambiente; las concentraciones de este elemento han aumentado conforme al ser utilizado en la fabricación de utensilios de uso cotidiano. Entre los grupos más vulnerables se encuentran las mujeres y los niños a quienes les afecta los sistemas nervioso, hematopoyético, renal hepático y reproductor. El sistema hormonal permite la comunicación y regulación de mensajeros químicos durante la etapa de desarrollo. Este trabajo se basa en la idea de que las hormonas podrían actuar como agentes sinérgicos del plomo durante esta etapa. El plomo genera daños en glándulas como: Timo, Bazo y Ovarios por lo tanto el estudio comprenderá la exposición de ratas hembra a plomo y un tratamiento estrogénico con el monitoreo del comportamiento y peso que las hembras. Los resultados han indicado que el efecto del metal en las hembras se relaciona con sus características fisiológicas como peso y en el número de las crías.

Palabras clave. Hormonas, Glutación S-transferasa, EROS, EGO, Gestación.

Introducción.

La contaminación es el resultado de la existencia de un gran número de actividades industriales en las cuales se realiza la manipulación de metales. Entre ellas la minería y las industrias de transformación, fundiciones y metalurgia en general son las más importantes (Caravanos, 2014). El plomo puede esparcirse en el ambiente y ser capaz de llegar a diversos organismos ocasionando daño en los sistemas comprometidos en las funciones vitales, entre los que se pueden mencionar el hematopoyético, el renal, el nervioso y el reproductor.

Nuestros ancestros dejaron muchas pruebas de su presencia en distintas del mundo, como restos de rocas trabajadas, fogatas en cuevas, y más recientemente, fragmentos de cerámica y esculturas. Sin embargo y conforme ha aumentado la población humana y ha aumentado la tecnología, la cantidad de restos generados por las actividades antropogénicas ha incrementado, de manera que, en la actualidad, se arrojan al ambiente alrededor de 100 millones de toneladas de plásticos. Esto genera acumulaciones gigantescas de desperdicios de este material conocidos Islas de plástico como la del Pacífico, la cual tiene el tamaño de $\frac{3}{4}$ de nuestro país. A esto se suman sustancias diversas que acaban en ríos, lagos y mares como fertilizantes, residuos industriales y metales tóxicos. Muchas de las sustancias tienen efectos en la salud humana (Rurik, 2017).

La contaminación mundial por metales pesados es inmensa debido, preferentemente, al mal manejo que se hace de los residuos y por lo cual éstos son liberados al ambiente. En México, se han reportado metales pesados en ríos, lagos, cultivos, suelos y aire de zonas urbanas, así como en ambientes costeros y marinos, donde se ha detectado la acumulación de metales tóxicos en tejidos de peces y moluscos de consumo humano. La minería es una de las principales causas de la contaminación ambiental por metales pesados en estados como Zacatecas, San Luis Potosí, Guerrero y Sonora (Ramos-Arroyo y Siebe-Grabach 2006).

Se le llama “metal pesado” a aquellos metales o metaloides con potencial de causar problemas de toxicidad. Algunos mecanismos de toxicidad ocasionados por estos elementos son los siguientes

1. Bloqueo de grupos funcionales esenciales en biomoléculas, debido a la alta afinidad de los cationes metálicos por los grupos sulfhidrilos de las proteínas, específicamente a los residuos de cisteína, lo que ocasiona su desnaturalización.
2. El desplazamiento de centros catiónicos en enzimas importantes, como por ejemplo en la ribulosa 1-5 bisfosfato carboxilasa-oxigenasa (rubisco), la cual tiene un centro catiónico de Mg^{2+} que puede ser desplazado en presencia de cationes divalentes como algunos metales pesados.
3. Formación de especies reactivas de oxígeno (ERO) debido a la autooxidación de metales como Fe^{2+} o Cu^{+} , lo que resulta en la formación de H_2O_2 y del radical $^{\circ}OH$. El radical $^{\circ}OH$ resulta ser uno de los más reactivos que se conocen, por su capacidad de iniciar reacciones en cadena de radicales libres que ocasionan modificaciones y daño irreversible a compuestos celulares como

carbohidratos, ácido desoxirribonucleico (ADN), proteínas y particularmente lípidos (Covarrubias y Cabriales, 2017).

En México se han establecido los límites permitidos de metales pesados, así como de arsénico en suelo. Covarrubias mencionó que según la NOM147-SEMARNAT-SSA1-2004 (SEMARNAT 2007) Y LA NOM-001-SEMARNAT-1996, las concentraciones de plomo permitidas en suelos agrícolas e industriales son 400 y 800 mg/Kg y en agua agrícola y de uso urbano de 0.5 y 0.2 mg/L respectivamente (Covarrubias y Cabriales, 2017). Se ha reportado que, dentro de la República Mexicana, los principales estados en donde impera la contaminación con metales pesados son San Luis Potosí, Chihuahua, Veracruz, Tlaxcala, Zacatecas, Michoacán y Oaxaca (Villalobos, M, et. al, 2009., Covarrubias y Cabriales, 2017., Peregasa, F y Cabrera-Morelos, 1999)

México está catalogado como el quinto mayor productor de plomo a nivel mundial con una producción de 220,000 toneladas métricas (2013) y una reserva de más de 5.6 millones de toneladas. Tres compañías mineras procesan mineral de plomo en 13 minas ubicadas en los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Guerrero, Hidalgo, San Luís Potosí, Sinaloa, Sonora y Zacatecas.

Uno de los principales problemas de contaminación con plomo fue su uso en la gasolina. En el año 1990, se empezó a eliminar el plomo de la gasolina y empezó la utilización de combustibles libres de plomo. En 1997, se eliminó por completo el metal de la gasolina, sin embargo, este hecho no ayudó a que disminuyera la interacción de los compuestos a base de plomo con seres humanos (Caravanos et al., 2014).

La exposición con plomo se ha producido también por la alfarería vidriada. Desde 1994, la FONART (Fondo Nacional para el Fomento de las Artesanías) ha prestado especial atención al sector alfarero, mediante el Programa Nacional para la Adopción de Esmalte Libre de Plomo, buscando erradicar los trastornos en la salud de los artesanos. Este organismo midió el nivel de plomo en sangre de una muestra representativa de artesanos alfareros con resultados que confirmaron que los niveles de plomo en sangre de esta población rebasaron los señalados como permisibles en la norma oficial mexicana NOM-199-SSA1-2000 vigente para población no expuesta desde el 2002 (Pérez y Sánchez, 2010).

La comunidad alfarera está expuesta al momento de esmaltar, también cuando la alfarería vidriada con greta (óxido de plomo), se utiliza para almacenar, cocinar o servir alimentos ácidos o bebidas calientes; es decir, la exposición al plomo depende del uso, frecuencia y tiempo utilitario de estos objetos (Noyola, 2017).

En 1991 empezó el interés de las autoridades mexicanas, por la intoxicación con plomo, ya que en ese tiempo una niña de siete años, de origen estadounidense, bebió una limonada almacenada en un vitrolero (olla de barro vidriado) elaborada con greta, cuyo componente mayor es el plomo. El origen de la intoxicación se atribuyó al uso de alfarería vidriada, este hecho, sumando al trabajo de distintos grupos de investigación en México, posicionó al uso del plomo en el barro como un tema prioritario de interés y estudio, sin embargo, no se ha podido erradicar su venta y uso en la alfarería popular mexicana sobre todo en estados como: Hidalgo, Oaxaca, San Luis Potosí, Morelos y Michoacán, afectando tanto a productores como a consumidores (Tolentino, 2016). En relación con lo anterior, varios estudios han documentado el impacto en la salud de adultos y niños en México, debido a la fabricación de alfarería vidriada y han reportado concentraciones superiores a 20 µg/dL de plomo en sangre en familias de alfareros en Tzintzuntzan, Michoacán, y de más de 30 µg/dL en una comunidad alfarera del estado de Veracruz. El riesgo de intoxicación por Pb^{2+} de los alfareros y sus familias es mayor debido a la exposición ambiental al plomo, a los alimentos cocinados en alfarería vidriada con plomo, la malnutrición, el uso del espacio laboral para la vivienda, las malas prácticas en el manejo del óxido de plomo y al hecho de que el plomo se convierte en una fuente endógena de exposición (Estrada-Sánchez et al., 2016).

La norma oficial mexicana establece como límite máximo permisible una concentración de plomo en sangre de 10 µg/dL. Sin embargo, algunos estudios han reportado que el nivel de plomo en sangre a concentraciones menores de este valor puede ocasionar daño neuronal en la población infantil (Leal-Escalante et al., 2007). Esta observación indica que los niños son más susceptibles a la intoxicación con plomo que los adultos lo cual, también muestra una relación entre las características de desarrollo y la toxicidad del metal. Aunado a lo anterior se deben mencionar los dulces elaborados con utensilios que tiene plomo, los juguetes, las pinturas y los cosméticos. Todos estos factores han originado un grave problema de salud especialmente en los niños, en

quienes las concentraciones de plomo en sangre indican que cursan por problemas de salud muy serios. La figura 1 muestra algunos de los estados más contaminados con plomo en la República Mexicana (Flores-Ramírez, R. et al, 2012) y algunas fuentes de contaminación nacionales son mostradas en la figura 3 (Monroy, D., 2014).

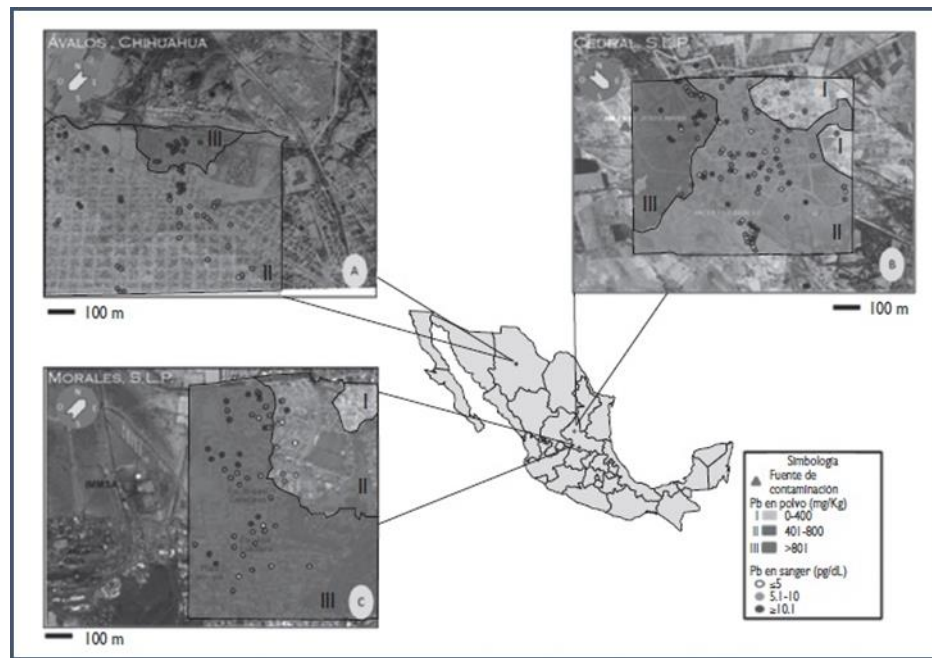


Figura 1. Zonas de México contaminadas con plomo y en el recuadro la concentración de este metal en sangre determinada en niños (Tomado de Flores-Ramírez, R, 2012).



Figura 2. Fuentes de contaminación por plomo en México (Tomado de Monroy, 2014 y de páginas de mercado libre anunciadas por internet)

Antecedentes

Para identificar las características que describen la toxicidad del plomo y los efectos que esta causa en diversos organismos, en este estudio se relacionó al plomo con sus efectos en ratas gestantes, en este sentido, se han encontrado varios reportes que indican que el plomo ocasiona daño tanto a los fetos como a sus madres durante y después del proceso de la gestación. Este en particular ha sido poco estudiado ya que se encuentra estrechamente comprometido con el sistema endócrino. Algunos daños ocasionados por la exposición a plomo, a nivel endócrino, se relacionan con el funcionamiento de las glándulas, la acción o producción de hormonas, el proceso de gestación y el desarrollo embrionario (Dolores, 2013). Este es uno de los procesos más impresionantes y se ilustra en la figura 3.

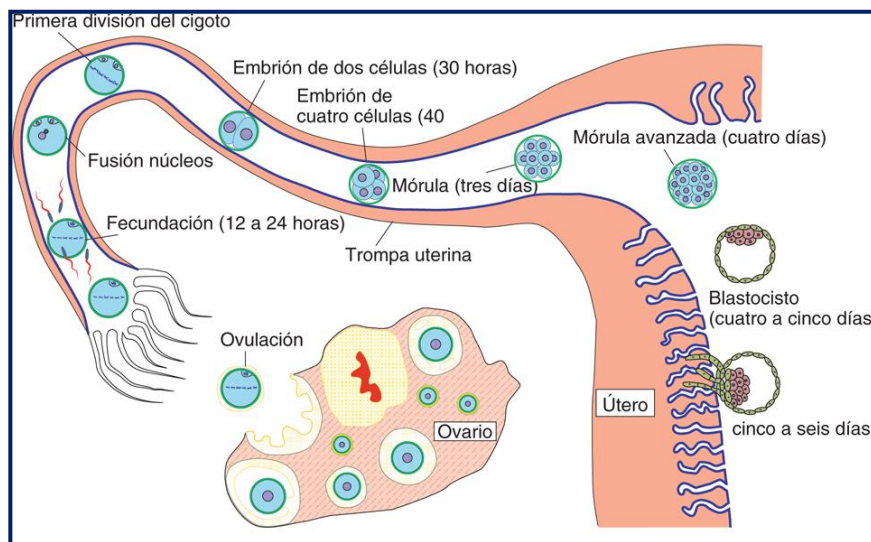


Figura 3. Desarrollo embrionario del día 1 al 6 comenzando por la ovulación hasta la implantación (Paniagua et al, 2010)

Chen y colaboradores (2014) estudiaron la exposición materna a múltiples metales (incluidos Cd, Hg, Pb y Se) y la transferencia transplacentaria de estos elementos de la madre al feto en una variedad de medios sanguíneos en los EE. UU. Concluyeron que los glóbulos rojos son mejores que el plasma para reflejar la transferencia transplacentaria de Hg, Pb y Se de la madre al feto. Además, encontraron niveles significativamente más altos de Hg en plasma y glóbulos maternos y eritrocitarios en nacimientos prematuros o con bajo peso al nacer, en comparación

con los nacimientos a término o normales. Este estudio piloto sentó las bases para futuras investigaciones.

Hallen y colaboradores (1995) estudiaron los efectos de la exposición placentaria y de lactancia al Pb^{2+} en ratas lactantes después de la exposición a largo plazo de ratas madre al metal en el agua potable. La exposición continua a Pb^{2+} durante la gestación y la lactancia dio como resultado niveles de Pb^{2+} en la leche aproximadamente 2.5 veces más altos que los niveles del ión en sangre. Cuando terminó la exposición a tóxico en el parto, los niveles en la leche eran similares a los encontrados en sangre en el día 15 de la lactancia, y solo el 10% de los niveles de leche encontrados después de la exposición continua al metal. La exposición a través de la placenta y la leche en la descendencia de las ratas expuestas continuamente dio como resultado niveles en sangre y cerebro 6 veces mayores que en la descendencia expuesta solo a través de la placenta. La exposición solo por la vía lactante en las crías de las madres expuestas a plomo hasta el parto originó niveles del tóxico en sangre más altos que en las crías expuestas solo a través de la placenta. Todo lo anterior indica que la transferencia a través de la leche materna es considerablemente mayor que la transferencia placentaria. Además, determinaron que en la descendencia de los grupos expuestos disminuyó la actividad de ALAD en la sangre, lo que indicó una relación entre la actividad de la enzima y los niveles de plomo en sangre, en la cual la actividad es inhibida de forma proporcional a la concentración del tóxico. Sin embargo, no observaron ningún efecto en la calidad de la leche, medida por las concentraciones de lípidos, proteínas y calcio de la leche, ni en la producción de leche (Oskarsson et al., 1992; Hallén y Oskarsson, 1993; Gulson et al., 1998). Un estudio ha indicado que el plomo posee gran afinidad por grupos sulfhidrilo y carboxilo de la caseína de la leche, razón por la cual se podría explicar su toxicidad en animales o humanos lactantes (Srinivas, S. et al, 2007).

Se ha reportado que la acumulación de plomo en el organismo humano afecta a la mayoría de las glándulas endocrinas. En particular tiene un efecto sobre el eje hipotálamo-pituitaria provocando respuestas de las hormonas estimulantes de la tiroides (TSH), somatotropina (GH), el folículo estimulante/luteinizante (FSH/LH), tirotropina (TRH), somatocrinina (GHRH), y la estimulación de gonadotropina (GnRH). De la misma manera se han reportado niveles elevados de prolactina (PRL) en la intoxicación por plomo (Doumouchsis, 2015). La placenta es el medio existente entre

el feto en desarrollo, la madre y el entorno exterior o el entorno y el feto en desarrollo. Las sustancias pueden atravesar la placenta por varios mecanismos de transporte y su función principal, es brindar un conducto para la nutrición del feto en desarrollo. Estos mecanismos están relacionados con influencias hormonales, algunas reacciones oxidativas, en su mayoría no enzimáticas y flujo sanguíneo fetal. Existen muy pocos estudios, hasta la fecha, relacionados con el transporte de metales traza esenciales (aparte del calcio y el hierro) así como muy pocos relacionados con el transporte transplacentario de metales tóxicos incluyendo plomo, cadmio y mercurio (Goyer, 1990). De esta manera cuando los fetos se encuentran expuestos al metal pueden presentar diversas alteraciones, principalmente en el cerebro, ya que esta etapa es de crecimiento rápido. Los efectos del plomo radican en el deterioro de la función cognitiva dado que la placenta no representa una barrera biológica para el metal (Wieslaw, 2009). El grupo de Navarrete-Espinoza estableció, en el año 2000, que existe una relación entre el nivel de plomo sanguíneo materno (PSM) y el existente en la sangre del cordón umbilical (PSC) al momento del parto. Existen estudios que relacionan la intoxicación con plomo y el riesgo de abortos espontáneos, indicando que estos casos se presentan cada vez más en zonas con niveles altos de contaminación con el metal. Un ejemplo lo constituye el estudio de Castro-Bedriñana y sus colaboradores quienes determinaron los efectos del plomo en gestantes y neonatos de madres expuestas al metal en la Ciudad de la Oroya en Perú. Los datos se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Niveles de plomo en sangre umbilical y sus efectos en la salud en 40 individuos. (Modificado de Castro-Bedriñana et al., 2013)

< 10	13	Audición y crecimiento
10 - < 20	8	Coficiente intelectual
20 - < 30	12	Velocidad de conducción nerviosa
30 - < 40	3	Metabolismo de Vitamina D
> 40	4	Producción de Hemoglobina

Debido a lo anterior se debe poner en claro que el estudio de los procesos de intoxicación por metales pesados constituye una necesidad cada vez más importante debido a que los seres vivos

considerados como “superiores” carecen de mecanismos de resistencia que los ayuden a soportar las concentraciones, cada vez más crecientes, de metales como el plomo en el medioambiente. Lo anterior ha traído como consecuencia la alteración de muchos procesos fisiológicos en prácticamente todos los seres vivos, no solo los mamíferos sino la totalidad de las especies del planeta. Entre los efectos que se han detectado en el humano, cada vez se pueden nombrar más enfermedades relacionadas al contacto directo o a consecuencias de la interacción que se tiene con los metales no esenciales para el metabolismo celular. Entre ellos el proceso de la gestación y el efecto en la salud general de las madres ha sido poco estudiado.

Estudios del efecto del plomo en los diferentes periodos de gestación en ratas Dowley han mostrado que el plomo interfiere dramáticamente en la etapa trofoblástica, disminuye el peso placentario, retarda el crecimiento en las crías e interfiere en la nutrición y cambio de oxígeno placentario entre madres y fetos.

En mujeres gestantes se han observado problemas como abortos, dificultad en el parto y muerte fetal (revista, Centres for disease control and prevención, 2000) Y que los niños pequeños son especialmente vulnerables a los efectos tóxicos del plomo y pueden sufrir alteraciones graves y permanentes para la salud, mismas que pueden afectar el desarrollo del cerebro y el sistema nervioso. Los niveles elevados de plomo en el embarazo se han asociado con varios resultados adversos, que incluyen hipertensión gestacional, aborto espontáneo, bajo peso al nacer y alteración del neurodesarrollo.

La exposición de las mujeres embarazadas a los altos niveles de plomo puede causar aborto involuntario, muerte fetal, parto prematuro, bajo peso al nacer y malformaciones (Cárcamo, 2013). por lo que se propuso el estudio del efecto a la exposición a plomo en el proceso gestacional, de ratas hembra de la cepa Winstar para determinar si existe alguna alteración en el desarrollo de los fetos, el tiempo de gestación, el número de estos y el posible efecto sistémicos del tóxico en las crías y en las madres.

Justificar la realización de este tipo de trabajos resulta fácil si se toma en cuenta lo anteriormente descrito. El proceso de embarazo compromete dos vidas, la de la madre y la del feto. Debido a las características químicas del plomo y su capacidad de unión a un gran número de macromoléculas,

es evidente que el problema de la contaminación por este metal en madres embarazadas debe ser una de las prioridades en un país como México que, como ya se ha descrito, presenta graves problemas de contaminación por metales pesados en muchos de sus estados y en comunidades rurales que usan este elemento en sus utensilios de comida. la figura 1 esquematiza la importancia de este fenómeno.

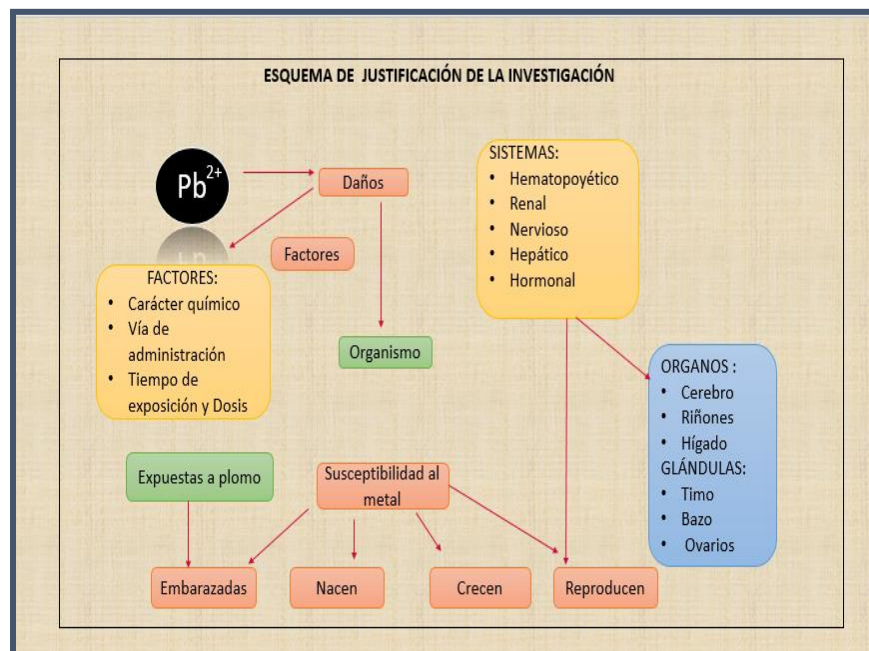


Figura 4. Esquema que muestra la estrategia justificada de este trabajo (Fuente: elaboración de Saribel Zilli Gutiérrez).

Metodología.

Para estudiar el fenómeno de la interacción entre el plomo y el proceso de gestación, se estudiaron y establecieron grupos de seis ratas hembra de la cepa Wistar con peso promedio de 150 gramos, el cual fue correlacionado con el periodo de madurez de sus órganos reproductores (García,2016), se colocaron en cajas por separado, una rata hembra y una rata macho a las cuales se realizaron los grupos de estudio pertinentes y que se mencionan a continuación.

Grupo control. Expuesto con agua de beber y comida normal durante todo el periodo de tiempo que correspondiente al tratamiento experimental. Grupo expuesto a plomo. Los animales fueron

tratados con plomo por vía oral a una concentración de 1000 ppm durante todo el periodo de tiempo que correspondió al tratamiento experimental.

Grupo expuesto a levonogestrel y etinil estradiol (anticonceptivos orales). Los animales fueron tratados con las hormonas por vía intraperitoneal usando una concentración adecuada al peso de las ratas durante 21 días.

Grupo expuesto a levonogestrel y etinil estradiol (anticonceptivos orales) y a plomo. Los animales serán tratados con las hormonas por vía intraperitoneal usando una concentración adecuada al peso de las ratas durante 21 días a la vez que se les administró plomo por vía oral a una concentración de 1000 ppm. Antes de iniciar los diferentes esquemas de trabajo se procedió a pesar a los animales de experimentación, primero a la madre y después a las crías de todos los grupos. Las técnicas utilizadas fueron: Cuantificación de proteínas por el método de lowry, Actividad de la enzima glutatións transferasa. La figura 5 muestra el esquema de trabajo general de este tema de investigación.

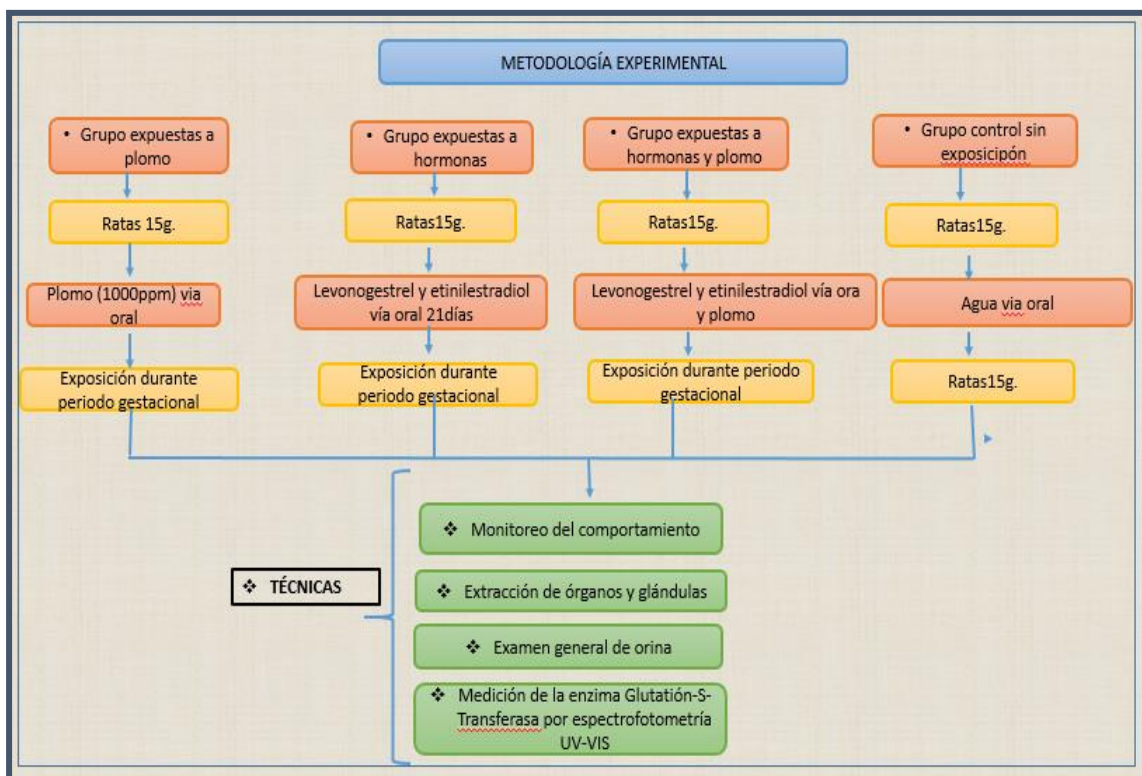


Figura 5. Esquema que muestra la metodología usada n este trabajo (Fuente: elaboración de Saribel Zilli Gutiérrez).

Resultados.

Para iniciar el estudio de los efectos del plomo, se procedió a determinar parámetros que son aplicados a la clínica y que cuando una mujer embarazada acude a sus revisiones son medidos de forma cotidiana. Esto es el peso, el cual indica de forma gruesa algún posible efecto negativo sobre el desarrollo normal del embarazo o del crecimiento de las crías.

En el caso de los experimentos llevados a cabo se pudo confirmar que en las madres se encontró una disminución de aproximadamente 20 gramos cuando fueron expuestas al metal y se compararon con el grupo no expuesto a plomo, al que se llamará. Esta determinación se llevó a cabo en un periodo de 21 días. Este hecho puede indicar que uno de los efectos sistémicos del plomo se relaciona, posiblemente, alterando algunos factores implicados en el metabolismo de las ratas y hace que estas pierdan peso durante la gestación. Las ratas expuestas a plomo disminuyeron su ingesta de comida diaria, así como el agua de bebida la cual contenía la solución de plomo. De la misma manera se podría proponer que, al ser ratas hembras los procesos hormonales podrían estar involucrados y generar una disminución de peso. La figura 7 muestra la forma en la cual los animales de experimentación son tratados por vía oral con una solución de plomo elaborada en el laboratorio. La tabla 2 muestra los datos obtenidos.

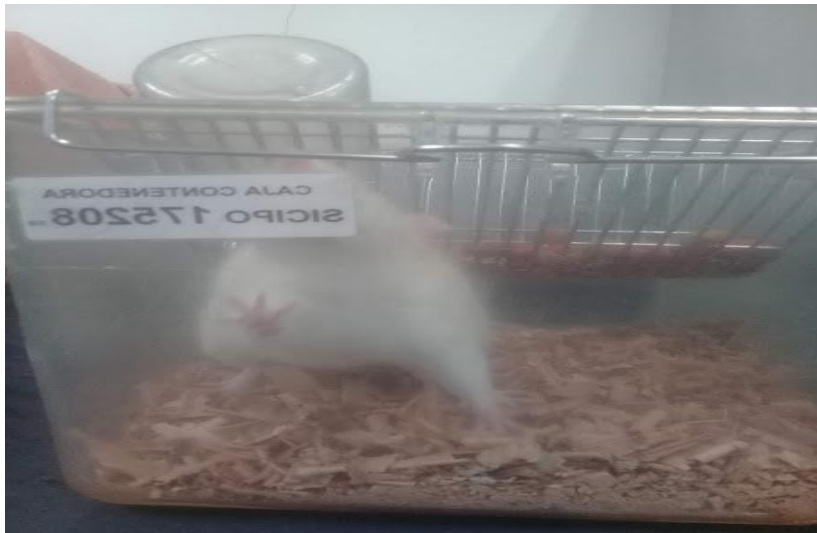


Figura 7. Sistema de mantenimiento y trabajo con ratas hembra de la cepa Wistar a las cuales se les administró plomo durante el periodo de experimentación (Fuente:

Tabla 2. Pesos inicial y final de ratas Wistar hembra no expuestas y expuesta a plomo (n=6)

Grupo	Peso inicial (g)	Peso final (g)
Control	150.17 ± 3.0	154.8 ± 9.4
Plomo	178.67 ± 25.8	156.2 ± 14.8

Elaboración propia

El peso de las crías fue menor en el grupo expuesto a plomo en comparación con las ratas del grupo control. Esto puede indicar que el plomo además de alterar el metabolismo de la rata gestante también puede influir en el desarrollo gestacional disminuyendo los pesos normales de ratas al nacer. Posiblemente el efecto sea a nivel del metabolismo del calcio ya que se sabe que el plomo es capaz de competir con este catión, el cual es esencial para los procesos de crecimiento y desarrollo de los mamíferos. Este hecho ha sido reportado por Lamadrid en 2004 quién explicó que en un feto en desarrollo ocurre la osificación y el crecimiento fetal, por lo que hay mayor demanda de calcio. Esto origina mayor absorción intestinal de calcio y mayor resorción ósea. Todo ello estimula el aumento del plomo circulante y mayores efectos malignos del mismo. Los resultados se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Número de crías y peso de los grupos experimentales (n=6)

	Número de crías	Peso promedio (gramos)
Control	11	6.0
Expuesto a plomo	9	5.0

Elaboración propia

Como se ha reportado, uno de los efectos de la intoxicación con plomo es alterar el metabolismo de micronutrientes esenciales como el calcio. Esto se puede reflejar en el desarrollo normal de órganos y tejidos. Es por ello que la presencia de plomo en órganos originó que los órganos cerebro, hígado y ovarios disminuyeran de peso. En el grupo de investigación se ha observado que cuando las ratas macho son expuestas al mismo tóxico, por lo general el peso de los animales y de sus órganos aumenta de forma proporcional. En las ratas hembra de este esquema de

intoxicación no se observó así y un hecho interesante es el efecto en los ovarios en donde el peso disminuyó aproximadamente la mitad en relación con el grupo control. Ello indica un efecto directo del plomo en el sistema reproductor. En la tabla 4 se pueden observar los resultados.

Tabla 4. Peso de órganos y glándulas de los grupos experimentales (n=6)

	Control (g)	Expuesto a plomo (g)
Cerebro	1.70	1.30
Hígado	7.85	5.09
Riñón	1.60	1.43
Timo	0.25	0.32
Bazo	0.57	0.53
Ovarios	1.15	0.62

Elaboración propia

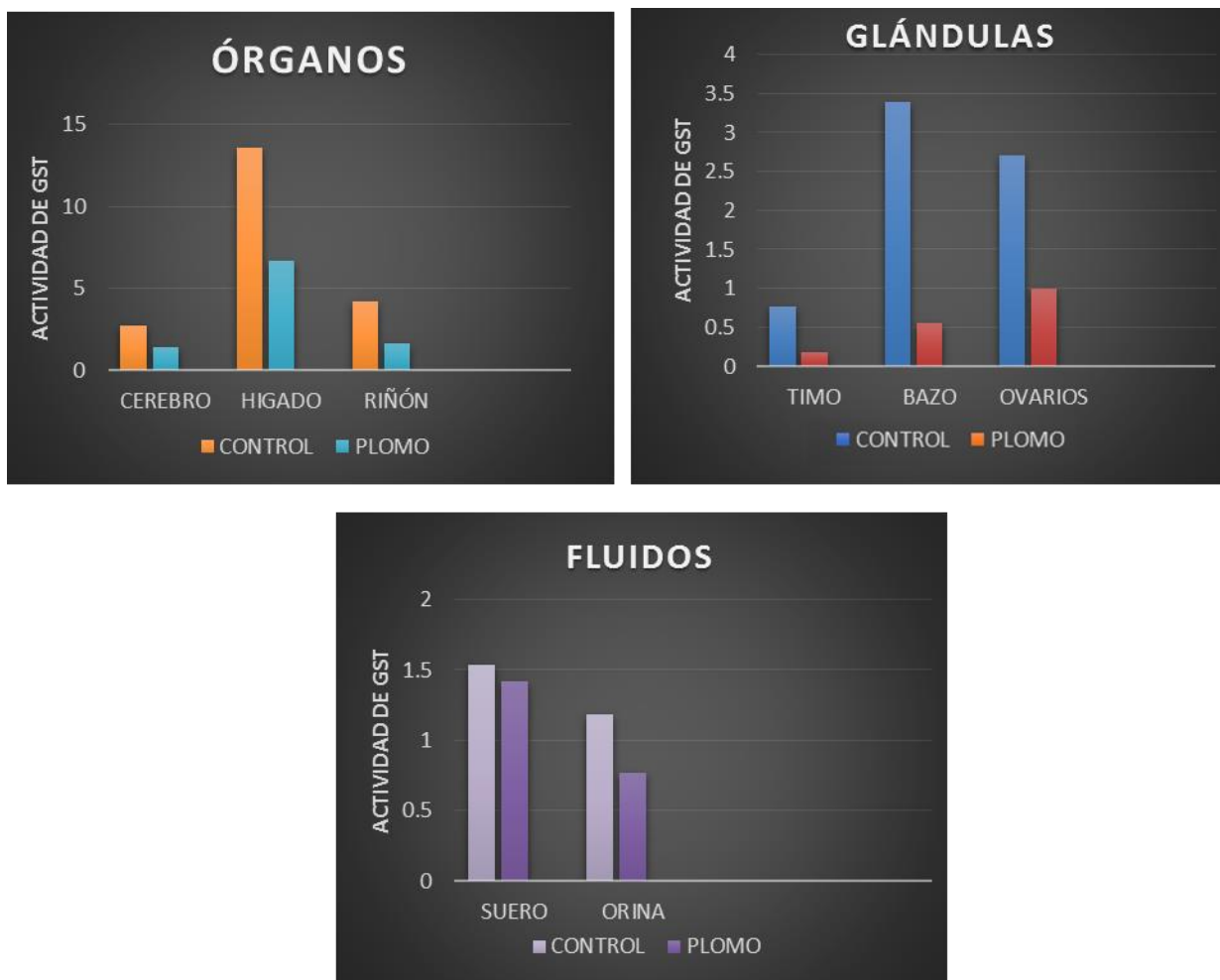
Como una medida de evaluación del daño por exposición al tóxico se realizó un examen general de orina (EGO). Los resultados muestran alteraciones en el volumen de orina el cual disminuye 9 mL en el grupo expuesto al metal, el pH aumenta 2 unidades en este grupo, volviéndose más básico, en comparación con el grupo control y de forma interesante se observó una disminución de proteínas en orina en el grupo expuesto a plomo. Los datos se presentan en la tabla número 5. Esto indica que la rata expuesta a plomo se encuentra reteniendo líquidos como una respuesta osmótica hacia la presencia del metal y que su orina se encuentra basificada por un efecto renal en el metabolismo electrolítico. Sin embargo, no presentan glucosuria o presencia de sangre en orina.

Tabla 5. Examen general de orina en ratas de los grupos experimentales (n=6).

	Volumen (ml)	Sangre (eritr/mL)	pH	Leucocitos/ μ l	Proteínas (g/L)	Glucosa mg/dL
Control	19.83 \pm 6.5	1.01 \pm 0.01	6.67 \pm 1.5	Negativo	2.25	Negativo
Plomo	10.18 \pm 1.6	1.01 \pm 0.00	8.6 \pm 0.89	Negativo	0.9	Negativo

Elaboración propia

Dentro del grupo de investigación se ha logrado establecer a la enzima Glutación S-transferasa (GST) como un bioindicador de daño por estrés oxidativo en ratas Wistar macho expuesta plomo. Se ha visto que existe una relación entre la exposición al tóxico, el aumento de las especies reactivas de oxígeno y el aumento de la actividad de la GST. Sin embargo en ratas hembra de la misma cepa en estado de gestación los resultados no siguieron el mismo comportamiento. La tabla número 6 muestra los resultados obtenidos en el grupo control y el expuesto al metal. Como se puede ver en ella, los valores de actividad disminuyeron en todas las muestras de tejido, de glándulas y de fluidos analizados. El hígado (6.89 unidades), el bazo (3.95 unidades), el riñón (2.44 unidades) y los ovarios (1.71 unidades) fueron los que mostraron la mayor disminución de actividad. La actividad mostrada en suero prácticamente fue la misma. Esto indica que los órganos hígado y riñón y las glándulas bazo y ovarios son los más afectados por la intoxicación con plomo. Este resultado apoya el hecho de que los procesos de gestación y crecimiento de las crías se ven afectados por la exposición a plomo. La gráfica 1 muestra la actividad de la enzima en órganos, glándulas y fluidos.



Gráfica 1. Actividad de GST ($\mu\text{mol/mg/min}$) en órganos (cerebro, hígado y riñón), glándulas (timo, bazo y ovarios) y fluidos (suero y orina) de ratas hembra control y expuestas a plomo durante el periodo de gestación.

Conclusiones

De acuerdo con la literatura consultada, la exposición al plomo puede aumentar el riesgo de partos prematuros y de recién nacidos con peso menor que el esperado (Poma,2008). Por otra parte, la respuesta del organismo a un xenobiótico depende de varios factores, principalmente de las propiedades físicas y químicas del agente involucrado, el estado de salud general, la edad, el estado nutricional y los factores genéticos, entre otros. Además, el plomo puede inhibir la actividad de las enzimas, así como también generar reacciones dentro del organismo que generen

un desbalance en los niveles de metabolitos que puedan desencadenar reacciones que generen un estado patológico (Gonzales, et. al, 2006; Caravanas, 2014).

Por otro lado, se sabe que algunos estados metabólicos comprometen muchas funciones de órganos y sistemas, un ejemplo lo constituye el embarazo. En este proceso los sistemas hormonales se encuentran ampliamente comprometidos con el desarrollo de una nueva vida. Muchos procesos se enfocan en la generación del ambiente adecuado y de la producción de la energía necesaria para poder formar un nuevo ser. Es por ello que cuando un agente xenobiótico ingresa a un animal en estado de gestación puede provocar daños de forma más certera que en condiciones en las cuales el animal se encuentre en estado normal. Los mecanismos de defensa tenderán a controlar el desequilibrio ocasionado por el agente, sin embargo la competencia entre el proceso en curso y la entrada de un agente tóxico externo comprometerán al metabolismo y en algún momento el plomo podrá ejercer un daño mayor que el observado en animales control. Esto hecho se manifestó en todos los parámetros medidos en este trabajo. El plomo ocasionó disminución en el número de crías, en el peso de los animales y en el peso de los órganos y glándulas, así como en el volumen de orina. Los ovarios disminuyeron de peso de forma drástica y su aspecto también varió, se volvieron muy delgados y laxos. La actividad de la enzima GST disminuyó tanto en órganos como en glándulas y fluidos. Este resultado indica que en condiciones de embarazo y en presencia de plomo, la actividad de la GST no puede reflejarse como un bioindicador sino como un efecto de la toxicidad del metal. Actualmente se siguen realizando experimentos tendientes a comprender mejor este fenómeno.

Este tipo de estudios son importantes debido a que asemejan las condiciones en las que muchas mujeres se encuentran actualmente ya que la contaminación del medioambiente ejerce efectos dañinos en el curso de los procesos de embarazo. Muchas veces no se le da la importancia al hecho de investigar el por qué muchos niños nacen con problemas tanto en su desarrollo físico como en sus capacidades de aprendizaje y se dan explicaciones que dejan de lado las causas reales del problema.

Se debe de entender que todos somos sistemas abiertos y por ello tenemos relación con nuestro medio ambiente, por ello el cuidado del mismo es responsabilidad de todos aquellos que de una manera u otra contribuyen a su contaminación. El manejo de los residuos domésticos e

industriales debe ser una prioridad para evitar tanto la combinación de sustancias generando otras más dañinas como la selección y separación de compuestos con alto potencial carcinogénico. Los metales pesados pertenecen a este grupo y es por ello que su manejo debe ser regulado.

La educación es la vía por la cual, las consecuencias de problemas como el que se narra en este escrito deben de ser comunicados a todos los miembros de la sociedad, de niños a adultos, en comunidades urbanas y rurales y en cada uno de los estados del país. De eso dependerá que la humanidad pueda tener una vida saludable.

Referencias

- Caravanos, J., Dowling, R., Téllez-Rojo, M. M., Cantoral, A., Kobrosly, R., Estrada, D., ... & Fuller, R. (2014). Niveles de Plomo en Sangre en México y su Implicación para la Carga Pediátrica de la Enfermedad. *Annals of global health*, 80(4), e1-e11.
- Van Loenen, T., Van Den Muijsenbergh, M., Hofmeester, M., Dowrick, C., Van Ginneken, N., Mechili, E. A., ... & Zelko, E. (2017). Primary care for refugees and newly arrived migrants in Europe: a qualitative study on health needs, barriers and wishes. *The European Journal of Public Health*, 28(1), 82-87.
- Ramos-Arroyo, Y. R., & Siebe-Grabach, C. D. (2006). Estrategia para identificar jales con potencial de riesgo ambiental en un distrito minero: estudio de caso en el Distrito de Guanajuato, México. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 23(1), 54-74.
- Covarrubias, S. A., & Cabriales, J. J. P. (2017). Contaminación ambiental por metales pesados en México: Problemática y Estrategias de Fitorremediación. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33, 7-21.
- Pérez Villalobos, M. V., Díaz Mujica, A., González-Pienda, J. A., Núñez Pérez, J. C., & Rosário, P. (2009). Escala de metas de estudio para estudiantes universitarios. *Revista Interamericana de Psicología/Interamerican Journal of Psychology*, 43(3), 449-455.

- Covarrubias, S. A., & Cabriales, J. J. P. (2017). Contaminación ambiental por metales pesados en México: Problemática y Estrategias de Fitorremediación. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33, 7-21.
- Valdés-Perezgasga, F., & Cabrera-Morelos, V. M. (1999). La contaminación por metales pesados en Torreón, Coahuila, México. *Texas Center for Policy Studies-Ciudadania Lagunera por los Derechos Humanos. Austin, Texas, Estados Unidos.*
- Martín, M. B., López, J. C., Oller, I., Malato, S., & Pérez, J. S. (2010). A comparative study of different tests for biodegradability enhancement determination during AOP treatment of recalcitrant toxic aqueous solutions. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 73(6), 1189-1195.
- García-Núñez, L. M., Magaña-Sánchez, I. J., Noyola-Villalobos, H. F., Belmonte-Montes, C., & Rosales-Montes, E. (2017). Manejo con técnica de abdomen abierto en pacientes críticos. Experiencia de dos años en el Hospital Central Militar. *Revista de Sanidad Militar*, 57(4), 232-236.
- Neubert, M. J., Hunter, E. M., & Tolentino, R. C. (2016). A servant leader and their stakeholders: When does organizational structure enhance a leader's influence? *The Leadership Quarterly*, 27(6), 896-910.
- Téllez-Rojo, M. M., Bautista-Arredondo, L. F., Richardson, V., Estrada-Sánchez, D., Ávila-Jiménez, L., Ríos, C. & Romero-Ramírez, A. (2017). Intoxicación por plomo y nivel de marginación en recién nacidos de Morelos, México. *salud pública de méxico*, 59, 218-226.
- Leal-Escalante, C. R., Baltazar-Reyes, M. C., Lino-González, M., Palazuelos-Rendón, E., & Meneses-González, F. (2007). Concentraciones de plomo en sangre y reprobación de escolares en la ciudad de México. *Gaceta medica de Mexico*, 143(5), 377-381.
- Trejo-Acevedo, A., Rivero-Pérez, N. E., Flores-Ramírez, R., Orta-García, S. T., Varela-Silva, J. A., & Pérez-Maldonado, I. N. (2012). Assessment of the levels of persistent organic pollutants and 1-hydroxypyrene in blood and urine samples from Mexican children living in an endemic malaria area in Mexico. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 88(6), 828-832.

- Frías-Navarro, D., & Soler, M. P. (2013). Prácticas del análisis factorial exploratorio (AFE) en la investigación sobre conducta del consumidor y marketing. *Artículos en PDF disponibles desde 1994 hasta 2013. A partir de 2014 visítenos en www.elsevier.es/sumapsicol, 19(1).*
- Carreño Venegas, A., Hurtado Guerra, J. J., & Navas Navas, M. C. (2014). Exposición a aflatoxina: un problema de salud pública. *Iatreia*, 27(1), 42-52.
- Tolsma, D. D. (1995). Reducir el número de víctimas que se cobra el tabaco.
- Ettinger, A. S., Roy, A., Amarasiriwardena, C. J., Smith, D., Lupoli, N., Mercado-García, A., ... & Hernández-Avila, M. (2013). Maternal blood, plasma, and breast milk lead: lactational transfer and contribution to infant exposure. *Environmental health perspectives*, 122(1), 87-92.
- Ovando Santana, C., & González Miranda, S. (2014). La relación bilateral chileno-boliviana a partir de las demandas tarapaqueñas: aproximación teórica desde la paradiplomacia como heterología. *Estudios internacionales (Santiago)*, 46(177), 35-64.