

Exposición ocupacional al plomo y su influencia en la fertilidad masculina

Occupational Exposure to Lead and its Influence on Male Fertility

Tania Pérez Bueno^{1,5} 

Areli Jaime Novas^{1,5*} 

Lucía Fariñas Rodríguez^{2,5} 

Magali Menéndez González^{3,5} 

Yuandia Pacheco González^{4,5} 

Heliodora Díaz Padrón^{1,5} 

Judith Pupo Balboa^{2,5} 

¹Instituto Nacional de Salud de los Trabajadores. La Habana, Cuba.

²Centro Nacional de Genética Médica. La Habana, Cuba.

³Hospital Materno Infantil “Ángel Arturo Aballí”. La Habana, Cuba.

⁴Hospital Clínico Quirúrgico Docente “Julio Trigo López”. La Habana, Cuba.

⁵Universidad de Ciencias Médicas de La Habana. Cuba.

*Autor para la correspondencia: arelisjaime68@gmail.com

RESUMEN

Introducción: El plomo no tiene función fisiológica, por lo que cualquier nivel encontrado en el organismo es potencialmente peligroso. Por las importantes consecuencias adversas que ejerce sobre el hombre que pueden ser provocadas por su exposición ocupacional, se hace énfasis en sus efectos sobre la salud reproductiva masculina.



Esta obra está bajo una licencia
[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Objetivo: Informar sobre aspectos generales relacionados con los efectos tóxicos del plomo en el hombre, su diagnóstico, fuentes de contaminación ocupacional y su relación con la fertilidad masculina.

Método: Búsqueda en la literatura publicada en diversas bases de datos y portales bibliográficos. Del total de artículos encontrados, 64 fueron elegidos por su relevancia para ser incluidos en esta revisión, siendo el 65 % de estas publicaciones de la última década.

Desarrollo: Múltiples estudios se refieren a los efectos adversos del plomo, incluso a niveles menores de 5 µg/dL. Su toxicidad reproductiva se evidencia en la disminución de la calidad del semen, daño a la estructura de los espermatozoides y en la integridad de la membrana espermática. Estudios publicados muestran que la medición de la cantidad de plomo en el tracto reproductivo puede ser un buen indicador para evaluar sus efectos sobre la fertilidad masculina. En Cuba la minería, la fundición secundaria, la fabricación, reacondicionamiento y reciclado de baterías Pb-ácido son sectores de alta exposición ocupacional, por lo que se debe reforzar la vigilancia de salud, promover la salud reproductiva y fomentar cambios de estilo de vida, para contribuir a la reducción de la exposición de estos trabajadores.

Conclusiones: Existen evidencias de que la exposición ocupacional crónica al plomo, afecta negativamente la salud, la calidad espermática y el índice de fragmentación espermático. No existen en Cuba estudios que evalúen la calidad seminal y la fragmentación del ADN espermático en trabajadores expuestos ocupacionalmente a plomo.

Palabras clave: plomo en sangre, exposición ocupacional, infertilidad, calidad seminal, semen, fragmentación del ADN espermático

ABSTRACT

Introduction: Lead has no physiological function; therefore, any level of it found in the body is potentially dangerous. Due to the significant adverse consequences that it can cause to any man subjected to occupational exposure to this metal, its effects on male reproductive health are emphasized.

Objective: To inform about general aspects related to the toxic effects of lead in men, its diagnosis, sources of occupational contamination, and its relationship with male fertility.



Method: A search was carried out in the literature published in various databases and bibliographic portals. Of the total number of found articles, 64 were selected for their relevance to be included in this review. 65% of the texts were published in the recent decade.

Development: Multiple studies refer to the adverse effects of lead, even at levels under 5 µg/dL. Its reproductive toxicity is evidenced by decreased semen quality, as well as by damage to the spermatozoa structure and the integrity of the spermatic membrane. Published studies show that measurement of the amount of lead in the reproductive tract can be a good indicator to assess its effects on male fertility. In Cuba, mining, secondary smelting, manufacturing, reconditioning, and recycling of Pb-acid batteries are sectors with high occupational exposure to lead, a reason why health surveillance must be strengthened, reproductive health must be promoted, and changes in lifestyle must be encouraged, in order to contribute to reducing the exposure of these workers.

Conclusions: There is evidence that chronic occupational exposure to lead affects health, sperm quality and sperm fragmentation index negatively. There are no studies in Cuba that evaluate seminal quality and sperm DNA fragmentation in workers occupationally exposed to lead.

Keywords: lead in blood; occupational exposure; infertility; seminal quality; semen; sperm DNA fragmentation

Recibido: 05/12/2022

Aceptado: 21/04/2023

Introducción

La Organización Mundial de la Salud (OMS) incluyó el plomo (Pb) dentro de una lista de diez productos químicos causantes de graves efectos sobre la salud, por lo que la inmensa mayoría de los sistemas y programas de vigilancia higiénico ambiental y de salud de los trabajadores en el mundo incluye al plomo



Esta obra está bajo una licencia
[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

como uno de los factores principales de riesgo ocupacional a identificar, evaluar, controlar y prevenir en los puestos de trabajo.⁽¹⁾

La intoxicación con plomo (saturnismo, plumbosis o plumbemia) es un problema de salud pública de abordaje integral y complejo que, sin duda, está lejos de ser considerado como superado. La OMS estima cerca de 1,06 millones de muertes cada año debido a su intoxicación, a pesar de esto el plomo sigue siendo ampliamente utilizado en la industria para la fabricación de productos.⁽¹⁾

La Resolución 283/14 del Ministerio de Salud Pública de Cuba (MINSAP), establece el Listado de enfermedades profesionales reconocidas nacionalmente, entre las que figura el saturnismo.⁽²⁾ Por su parte, el Programa Nacional de Salud Ocupacional del MINSAP, establece el procedimiento para la vigilancia de los trabajadores expuestos a plomo inorgánico, sus sales y compuestos, como parte de la prevención y control de enfermedades profesionales.⁽³⁾

Entre los efectos que provoca la intoxicación por plomo se destacan los neurotóxicos, nefrotóxicos, hematológicos y de la función reproductiva. Su toxicidad para la reproducción se ha probado mediante estudios de análisis transversales en humanos, así como estudios *in vivo* e *in vitro* en animales.⁽⁴⁾

A partir de estos antecedentes, se realiza esta revisión con el objetivo de presentar información sobre aspectos generales relacionados con los efectos fisiológicos del plomo en el hombre, su diagnóstico, fuentes de contaminación ocupacional y su relación con la fertilidad masculina.

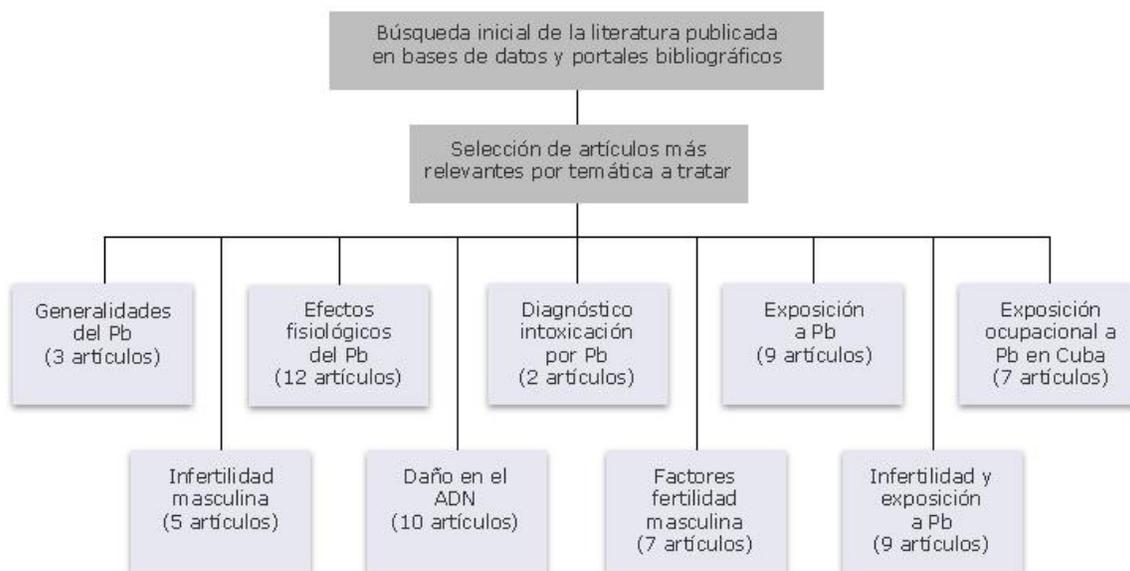
Métodos

Se realizó una amplia búsqueda bibliográfica en diversas bases de datos y portales bibliográficos como PubMed, SciELO, LILACS, Latindex, DOAJ, Medigraphic, CUMED, Dialnet, Google Scholar, Springer Link, entre otras, con la finalidad de encontrar estudios que reporten los efectos fisiológicos, el diagnóstico, las manifestaciones clínicas de la intoxicación por plomo, las fuentes de contaminación ocupacional y la relación de la exposición a plomo con la calidad seminal y la fragmentación del ADN espermático.



Se utilizaron varias combinaciones de los siguientes términos de búsqueda: exposición ocupacional a plomo, niveles de plomo en sangre, infertilidad masculina, calidad seminal, fragmentación del ADN espermático. Los artículos seleccionados se limitaron a estudios publicados en inglés y español.

Se revisaron artículos publicados entre los años 1975 al 2022. Por el alcance de sus objetivos, actualidad, claridad en la metodología, presentación de resultados y discusión, se eligieron 64 artículos para ser incluidos en esta revisión. El 67 % de las publicaciones se seleccionadas fueron divulgadas en la última década. Los textos utilizados para su elaboración incluyen revisiones narrativas y sistemáticas, investigaciones originales, tesis, libros de carácter nacional e internacional y otras obras de referencia. La figura 1 recoge el número de artículos elegidos por cada una de las temáticas a tratar en la presente revisión.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 1. Resumen del número de artículos elegidos por cada una de las temáticas tratadas.

Desarrollo



Esta obra está bajo una licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Generalidades del plomo

El plomo es un elemento químico perteneciente al grupo 14 del sistema periódico, grupo de los carbonoides. Su nombre proviene del latín *Plumbum*, se considera un metal pesado, con número atómico 82 y peso atómico de 207,19 g/mol. Es de color gris azulado, blando y maleable y, por lo general, se presenta en forma de pequeñas masas globulares o láminas fácilmente oxidables. Tiene un punto de fusión de 327,6 °C, un punto de ebullición de 1 740 °C y una densidad relativa de 11 340 kg/m³.⁽⁵⁾ Industrialmente, sus compuestos más importantes son los óxidos de Pb y el tetraetilo. El plomo forma aleaciones con muchos metales y en general, se emplea en esta forma en la mayor parte de sus aplicaciones.⁽⁶⁾

Este metal es extremadamente tóxico y su intoxicación crónica, el saturnismo o plumbemia, se conoce desde la antigüedad. A pesar de ser una de las enfermedades laborales más antiguas, muchos de los trabajadores expuestos no cumplen con las medidas de protección adecuadas y se intoxican, no sólo ellos sino también sus familias, siendo los niños la población más vulnerable.⁽⁷⁾

La inhalación y la ingestión son las principales vías de entrada de los compuestos inorgánicos de plomo al organismo humano.⁽⁸⁾ Estos compuestos se encuentran presentes en el aire ambiental en forma de aerosoles que, al ser inhalados se depositan en el tracto respiratorio. También pueden ingresar al organismo por ingestión a través de las manos, alimentos, bebidas o cigarrillos contaminados en el ambiente de trabajo producto de malas prácticas de higiene laboral.⁽⁹⁾

El plomo inorgánico se absorbe en el tracto gastrointestinal, en su mayoría en el duodeno, luego circula en la sangre, uniéndose fundamentalmente a los eritrocitos. La fracción que se une al plasma se distribuye al cerebro, hígado, riñones, piel y sistema músculo esquelético, donde puede manifestar su toxicidad. Dentro de la célula el plomo se une al grupo sulfidrilo e interfiere en numerosas enzimas celulares, entre las que se incluyen aquellas que participan en la síntesis del grupo hemo.⁽¹⁰⁾

La excreción del plomo es lenta, se excreta a través de los riñones por la orina y en menor cantidad en la bilis, heces, piel, cabello, uñas, sudor y leche materna.⁽¹¹⁾ El plomo no excretado permanece en el cuerpo por periodos prolongados produciendo efectos sobre los canales de calcio formando depósitos fundamentalmente en huesos, donde es inerte e inicialmente no tóxico y puede permanecer acumulado



durante toda la vida. El plomo almacenado puede volver a entrar al torrente sanguíneo durante periodos de alteración de calcio (osteoporosis), embarazo, hipertiroidismo, medicaciones y edad avanzada.⁽¹¹⁾

El plomo es capaz de cruzar la barrera placentaria y provocar graves consecuencias para el feto.⁽¹²⁾ Se considera que daña la función neurocognitiva en bebés y niños pequeños generando problemas de conducta, disminución del coeficiente intelectual y del aprendizaje.⁽¹³⁾

Efectos del plomo en la salud

La toxicidad aguda por plomo se presenta luego de una exposición respiratoria a altas concentraciones, con encefalopatía, insuficiencia renal y síntomas gastrointestinales. La toxicidad crónica es la más frecuente y se manifiesta con compromiso multisistémico: hematopoyético, del sistema nervioso, gastrointestinal, cardiovascular, renal y reproductor.⁽¹¹⁾ Sus efectos biológicos son los mismos ya sea su entrada al organismo por inhalación o ingestión, siendo el sistema nervioso central (SNC) su diana principal.⁽¹⁴⁾

La exposición a plomo además está asociada con efectos tóxicos en el sistema inmune, incrementando la incidencia de alergias, enfermedades infecciosas y autoinmunidad.^(15,16,17) Por otra parte, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés) ha estudiado la relación del daño en el ADN con la exposición a plomo y lo ha clasificado como posible carcinógeno humano (grupo 2B) y a sus compuestos inorgánicos como probables carcinógenos humanos (grupo 2A).⁽¹⁸⁾

La exposición ambiental y ocupacional a plomo puede afectar adversamente el eje hipotálamo-hipófisis-testicular, alterando la inducción de la espermatogénesis, así como la función de los espermatozoides. Los problemas de espermatogénesis pueden manifestarse como un recuento bajo de espermatozoides y derivar de una disfunción del eje reproductivo o degeneración testicular. La generación excesiva de especies reactivas de oxígeno debido al estrés oxidativo asociado con el plomo puede afectar potencialmente la concentración, la viabilidad, la movilidad, la fragmentación del ADN, la peroxidación de los lípidos de la membrana, la capacitación, la hiperactivación, la reacción del acrosoma y la quimiotaxis de los espermatozoides, todo ello contribuye a la infertilidad masculina.^(4, 19)

Diagnóstico de la intoxicación por plomo



Esta obra está bajo una licencia
[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Puesto que la sintomatología puede ser muy inespecífica, el diagnóstico está basado en el antecedente de exposición, su cuadro clínico y la exploración complementaria. La exploración física debe ser exhaustiva. Se indagará en la historia laboral, detallando el puesto de trabajo actual y los anteriores. Es necesaria una exploración clínica con especial atención a la piel, faneras, la cavidad oral, abdomen, sistema cardio-circulatorio, neurológico y la función pulmonar.⁽¹³⁾

La prueba diagnóstica más útil para evaluar la exposición es la medición de plomo en la sangre venosa (Pb-S), por lo que el diagnóstico de intoxicación se confirma correlacionado los niveles de Pb-S con la sintomatología identificada.⁽²⁰⁾

Teniendo en cuenta que la vida media del Pb-S es 28 a 36 días, los niveles sanguíneos reflejan una exposición relativamente reciente, ya sea exógena y/o endógena (por la liberación de plomo almacenado en el tejido óseo).⁽²⁰⁾

El nivel de Pb-S refleja el equilibrio dinámico entre la absorción, la excreción y el depósito en los compartimentos de tejidos blandos y duros. En el caso de la exposición crónica, los niveles de Pb-S generalmente subestiman la carga corporal total; sin embargo, es la medida de la exposición a plomo más común y ampliamente aceptada.⁽²⁰⁾

Los síntomas de la intoxicación por plomo son más o menos proporcionales a los niveles de Pb-S, aunque el riesgo aumenta cuando los niveles son mayores de 10 µg/dL por un período largo. La literatura refiere que con valores a partir de 100 µg/dL existe peligro para la vida, pero se han encontrado trabajadores que no manifiestan signos cuando los niveles de Pb-S son de 60 o más, otros muestran síntomas claros a 30 y hasta 15 µg/dL.⁽²¹⁾ Existe tolerancia al efecto del plomo, por mecanismos desconocidos (quizás genéticos), pero que debe tenerse en cuenta pues, pasado un tiempo estos trabajadores pueden comenzar con graves síntomas, generalmente trastornos neurológicos periféricos.⁽²²⁾

Por lo general, los síntomas relacionados con el plomo irán mejorando gradualmente después de suprimir la exposición y reducir las concentraciones sanguíneas, de persistir o empeorar deberán realizarse diagnósticos diferenciales.⁽²¹⁾



En el contexto internacional, estudios epidemiológicos continúan brindando evidencia de los efectos en la salud a niveles cada vez más bajos de Pb-S, tanto en niños como en adultos, con niveles de Pb-S por debajo de 10 $\mu\text{g}/\text{dL}$ y, para algunos efectos, por debajo de 5 $\mu\text{g}/\text{dL}$.⁽²³⁾

Observando esta problemática, en 2015, el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH, por sus siglas en inglés), a través del programa de Epidemiología y Vigilancia de Pb-S de adultos (ABLES, por sus siglas en inglés) designó 5 $\mu\text{g}/\text{dL}$ de Pb-S, como el nivel de referencia para adultos. Se considera que un valor de Pb-S mayor de 5 $\mu\text{g}/\text{dL}$ es elevado y a pesar de que no constituye un índice de exposición biológica (BEI, por sus siglas en inglés).⁽²⁴⁾

Por su parte, la OMS plantea que cuando la concentración de Pb-S sea superior a 5 $\mu\text{g}/\text{dL}$, se deben identificar las fuentes de exposición y tomar las medidas adecuadas para reducir/detener la exposición.⁽²⁵⁾

En el ámbito nacional, el Programa Nacional de Salud Ocupacional del MINSAP,⁽³⁾ recoge el procedimiento oficial para el análisis, prevención y control específico de los trabajadores expuestos a plomo inorgánico, sus sales y compuestos, el cual establece que valores de Pb-S entre 15-60 $\mu\text{g}/\text{dL}$ se interpretan como valores de exposición. Cuando la concentración de Pb-S es superior a 60 $\mu\text{g}/\text{dL}$ se considera con criterio de intoxicación plúmbica.

El médico responsable de la salud ocupacional del trabajador expuesto debe tomar las medidas necesarias para mantener su vigilancia médica.

Exposición a plomo

Las fuentes de exposición a plomo se clasifican como fuentes del ambiente general y fuentes del ambiente ocupacional. En el primer grupo se considera la emisión al aire de vapores y partículas en las fundiciones primarias y secundarias; por esta vía se alcanza la contaminación del agua, el suelo, los alimentos y la biota. Los niveles de plomo presentes en estas fuentes varían en el mundo y dependen del grado de desarrollo industrial, de urbanización y de factores relacionados con el modo de vida.⁽⁷⁾

En este grupo también se incluyen las emisiones al aire de los productos de combustión de gasolina con plomo. Felizmente, en 2021 se logró su erradicación mundial, por la eliminación del tetraetilo de plomo



utilizado como antidetonante en gasolinas desde 1922. Se estima que prohibir el uso de gasolina con plomo evita más de 1,2 millones de muertes prematuras al año y daños a la salud, fundamentalmente en niños.⁽²⁶⁾

El segundo grupo, ambiente ocupacional, se encuentran las actividades de minería y los procesos industriales que utilizan el plomo y sus compuestos,⁽⁷⁾ donde se conocen más de 100 actividades con exposición a este metal.⁽²²⁾

En las fundiciones de plomo, los riesgos principales son los derivados del polvo que se producen durante las operaciones de triturado y molienda en seco; los humos y óxidos de Pb que se liberan durante la sinterización, la reducción en altos hornos y en el refinado. La demolición de estructuras de acero recubiertas con pintura a base de plomo como puentes y barcos, produce con frecuencia casos de intoxicación por plomo. El recubrimiento por rociado de metales con plomo fundido es muy peligroso, pues genera polvo y humos a temperaturas elevadas. Los riesgos del trabajo con plomo aumentan en función de la temperatura, si se trabaja a menos de 500 °C, como ocurre en las operaciones de soldadura, el riesgo de exposición a humos es mucho menor.⁽²⁰⁾ Por otra parte, las baterías de Pb-ácido representan uno de los productos que más se reciclan y reparan en el mundo, generando un alto grado de contaminación laboral y ambiental.⁽²⁷⁾

La aplicación de prácticas inadecuadas durante el trabajo puede ocasionar trastornos graves y duraderos en la salud tanto de los trabajadores, como de la comunidad y el medio ambiente por las emisiones de este metal.⁽²⁷⁾ Si bien en el mundo se eliminó la mayor fuente de contaminación por plomo, aún se necesitan acciones urgentes para detener la proveniente de otras fuentes, como las pinturas, las baterías, artículos domésticos y otros que contienen este tóxico metal.⁽²⁶⁾

Exposición ocupacional a plomo en Cuba

El país cuenta con recursos minerales de minas metálicas entre los que se encuentra el plomo, siendo su explotación y comercialización minera un sector de alta exposición ocupacional a este metal.⁽²⁸⁾ Otras industrias importan plomo en bruto para diversos usos.⁽²⁹⁾ Independientemente de otras ocupaciones con



exposición a plomo, se plantea que el uso más amplio del plomo se encuentra en la fabricación de baterías Pb-ácido para automóviles.⁽³⁰⁾

Para la fabricación de estas baterías se emplea plomo proveniente de baterías recicladas (fundición secundaria), donde existe alto riesgo potencial para la salud y el ambiente si no se toman las medidas adecuadas en el proceso de recuperación.⁽³⁰⁾ Otro sector laboral que muestra una alta exposición a plomo es el privado, en este los denominados talleres informales de reacondicionamiento y reciclado de baterías, donde a pesar del elevado riesgo de contaminación no siempre existe un ambiente adecuado, ni se cumplen las medidas de seguridad, higiene y salud ocupacional.⁽³¹⁾

Esto se ha confirmado a través de diferentes estudios realizados en el occidente y oriente del país, donde se demuestra que las ocupaciones con mayores valores de exposición a plomo son las de fundición del metal y reparadores de baterías,^(31,32,33) así como las labores de soldadura y plomería.⁽³³⁾

Infertilidad masculina

La infertilidad es una patología altamente prevalente y tiene importantes implicancias psicológicas, económicas, demográficas y médicas. En virtud de su prevalencia y de sus consecuencias en la salud de las personas, la OMS la reconoció en el año 2009 como una enfermedad, determinada por la imposibilidad de lograr un embarazo clínico después de 12 meses o más de relaciones sexuales no protegidas.⁽³⁴⁾

Se estima que la infertilidad afecta aproximadamente entre 8-15 % de las personas en edad reproductiva y estas cifras parecen estar aumentando, lo que constituye un verdadero motivo de preocupación.⁽³⁵⁾

Son varias las causas de infertilidad, estas dependen de cada población. Pueden ser de origen multifactorial o presentarse de forma unitaria y se relacionan con alteraciones o deficiencias en los órganos de los aparatos reproductores. De forma general se plantea que el 50 % de las causas son de origen femenino, del 20-30 % de origen masculino y el porcentaje restante es causado por una combinación de agentes; es decir, un factor femenino combinado con un trastorno masculino.⁽³⁶⁾

La infertilidad en el hombre se define como la incapacidad de fecundar con éxito el óvulo de una mujer debido a problemas relacionados con sus órganos reproductores, con los espermatozoides o con el



líquido seminal. El hombre puede ser estudiado por infertilidad o subfertilidad utilizando diferentes intervenciones clínicas y también evaluando la calidad espermática en un laboratorio de andrología.⁽³⁷⁾

Alrededor de 30 millones de hombres en el mundo son infértiles. En Cuba, entre los años 2018 y 2019, se identificaron alrededor de 141 000 parejas consideradas infértiles, de estas, el factor masculino puede verse afectado en cerca de la mitad de los casos.⁽³⁶⁾ Por otro lado, se estima que el 25 % de las causas de infertilidad masculina son de origen idiopático o inexplicable y que la etiología de algunas de estas causas podría estar relacionada con daño del ADN de los espermatozoides.⁽³⁸⁾

Para el diagnóstico de la infertilidad masculina el primer paso es el análisis de las características seminales a través del espermograma, este puede verse afectado por diversos factores, tanto intrínsecos (anatómicos, endocrinológicos o genéticos) como extrínsecos (medioambientales, estilos de vida).⁽³⁹⁾

Aunque el espermograma es la base de la evaluación de la fertilidad masculina,⁽⁴⁰⁾ no revela defectos en el espermatozoide que afectan la integridad del genoma masculino. Autores plantean que, aproximadamente el 15 % de los hombres con parámetros seminales normales presentan daño del ADN espermático,⁽⁴¹⁾ otros estudios reportan que del 25 al 40 % de los hombres con calidad de semen dentro de los niveles de referencia de acuerdo a la OMS presentan infertilidad debido a la presencia de fragmentación del ADN espermático,⁽⁴²⁾ de ahí que la integridad del ADN en el espermatozoide se puede considerar como un parámetro independiente e indicativo de su calidad.^(43,44)

Daño en el ADN espermático

Se plantea que el daño del ADN espermático se produce por factores intrínsecos como: apoptosis durante la espermiogénesis; roturas en las cadenas de ADN durante la remodelación de la cromatina espermática; fragmentación posttesticular del ADN inducida principalmente por Especies Reactivas de Oxígeno (EROs), durante el transporte a través de los túbulos seminíferos y el epidídimo; fragmentación del ADN inducida por caspasas y endonucleasas; así como por factores extrínsecos como: daño del ADN inducido por la radiación ionizante, hipertermia testicular, la exposición a contaminantes ambientales, entre otros.⁽⁴⁵⁾



Varias técnicas se han desarrollado para evaluar los niveles de daño de ADN espermático: el ensayo *TUNEL* (*Terminal dUTP Nick-End Labeling*); la prueba *SCD* (*Sperm Chromatin Dispersion*); *SCSA* (*Sperm Chromatin Structure Assay*); el ensayo *DBD-FISH* (*Breakage Detection-Fluorescence In Situ Hybridization*); y el ensayo cometa bajo condiciones desnaturalizantes, también llamado *SCGE* (*Single Cell Gel Electrophoresis*). Adicionalmente, existen otras pruebas como el ensayo Naranja de Acridina, Azul de Toluidina y Cromomicina A3 (CMA3).⁽⁴⁶⁾

Se han definido valores de corte para la determinación de la fragmentación del ADN, que permiten discriminar entre individuos fértiles e infértiles. Autores consideran que la probabilidad de la fertilización *in vivo* es cercana a cero si la proporción de espermatozoides con daño excede el 30 %.^(47, 48)

Algunos factores de riesgo que afectan la fertilidad masculina

Las características del semen pueden verse afectadas por la edad, patologías asociadas, el sobrepeso y la obesidad, el consumo de alcohol y tabaco, el estrés, la exposición a diversos contaminantes ambientales químicos, a agentes físicos, por tratamientos de quimio y radioterapia, infecciones y traumas testiculares, infecciones sistémicas, entre otros.^(49, 50)

Recientemente se han presentado evidencias de que la COVID-19 podría provocar casos de esterilidad masculina, al causar daños en diferentes partes del aparato reproductor masculino.⁽⁵¹⁾

La característica común de la exposición del cuerpo de un hombre a estos factores es el aumento significativo de las EROs que, causan estrés oxidativo e infertilidad, además de tener un efecto significativo en la descendencia.⁽⁵²⁾

A nivel internacional existe el interés científico en el estudio de sustancias químicas que son susceptibles de interactuar con los procesos endocrinos, a los que se le llaman disruptores o perturbadores endocrinos u hormonas medio ambientales.⁽⁵³⁾

Dentro de los disruptores endocrinos figuran compuestos usados en la industria pesada [bifenilos policlorados (PCBs), dioxinas], pesticidas organoclorados [clorpirifos, metoxicloro, 2,2-bis-(p-clorofenil)-1,1,1-tricloroetano (DDT) y sus metabolitos], fungicidas (vinclozolina), plásticos y plastificantes [bisfenol-A (BPA) y ftalatos], productos farmacéuticos [dietilestilbestrol (DES) e incluido más recientemente, el



paracetamol], metales [Pb, cadmio (Cd), mercurio (Hg), uranio (U) y un metaloide, el arsénico (As)], entre otros.⁽⁵⁴⁾

En hombres expuestos a metales pesados se pueden encontrar alteraciones en los parámetros normales de recuento, movilidad, morfología y fragmentación del ADN de los espermatozoides, así como cambios en los niveles hormonales.⁽⁵⁵⁾

Infertilidad y exposición a plomo

Particularmente en trabajadores con exposición ocupacional a plomo, se ha encontrado disminución de la producción de espermatozoides, baja vitalidad, reducción de la velocidad y morfología, lo que sugiere una actividad espermática retardada. Además, los resultados indican daño en la estructura de los espermatozoides, la integridad de la membrana y fracaso en la protección antioxidante después de la exposición a plomo.^(19, 56, 57) Sin embargo, otros estudios^(58,59) no hallan influencia entre los niveles de plomo en la calidad del semen.

La tabla 1 muestra un resumen de algunos trabajos publicados donde se evidencia la relación del Pb-S con la calidad espermática, en trabajadores con exposición laboral.

Tabla 1- Estudios que muestran el efecto plomo (Pb-S) en el semen

Estudio	Año/Revista	Resultado/Autores
Trabajadores de fábrica de baterías (23-74 µg/dL)	1975 <i>Arch Environ Health</i>	↓ movilidad, ↓ concentración (Lancranjan et al.)
Trabajadores de fábrica de baterías (22-79 µg/dL)	1987 <i>Arch Environ Health</i>	↓ concentración (Assenato et al.)
Trabajadores de fábrica de baterías (23-49 µg/dL)	1992 <i>Am J Ind Med</i>	↓ volumen, ↓ movilidad, ↓ concentración (Lerda et al.)
Trabajadores de una fundidora de Pb (15-40 µg/dL)	1996 <i>Occup Environ Med</i>	↓ Motilidad, ↓ concentración (Alexander et al.)
Trabajadores de fábrica de baterías	1999 <i>Am. J. Ind. Med</i>	↓ movilidad (Viskum et al.)
Trabajadores industriales (10-37 µg/dL)	2000 <i>Environ Health Perspect</i>	↓ movilidad, ↓ viabilidad, ↓ concentración (Telisman et al.)
Trabajadores industriales (5-65 µg/dL)	2002 <i>Occup Environ Med</i>	↓ concentración, deterioro de la cromatina espermática a ↑ concentraciones de Pb en semen (Bonde et al.)



Trabajadores de fábrica de baterías y pinturas (48-77 µg/dL)	2006 <i>J UOEH</i>	↓ concentración, ↓ movilidad, daño en la estructura de los espermatozoides e integridad de la membrana (<i>Naha y Chowdhury</i>)
Trabajadores de fábrica de baterías (10-71 µg/dL)	2009 <i>Fertility and Sterility</i>	↓ formas morfológicas normales, riesgo a la integridad ADN espermático (<i>Hsu et al.</i>)

Fuente: Adaptado de Morán, 2012⁽⁵⁹⁾

Se puede observar como la toxicidad reproductiva masculina se demuestra no solo a través de la afectación en el recuento de espermatozoides, la movilidad o la morfología normal; sino también en el daño la estructura de los espermatozoides y la integridad de la membrana espermática.

Estudios recientes se han alentado a investigar los efectos adversos del plomo a bajos niveles. Investigadores han observado disminución en la concentración espermática, la viabilidad y morfología normal de los espermatozoides en sujetos residentes cerca de una zona metalúrgica; concluyendo que la exposición ambiental crónica a niveles bajos de plomo afecta negativamente la en la calidad espermática.⁽⁶⁰⁾ Asimismo, otros autores detectan que hombres sin exposición conocida presentan niveles de plomo en semen que pueden contribuir a la infertilidad masculina.^(61, 62)

En la literatura internacional existe consenso de que concentraciones de plomo medidas en fluidos biológicos podrían estar relacionadas con problemas de fertilidad en humanos. Considerándose la medición de la cantidad de plomo en el tracto reproductivo un biomarcador útil, para evaluar la toxicidad de plomo a niveles bajos de exposición.^(63,64)

A pesar de las evidencias mostradas sobre el efecto de la exposición a plomo en la calidad espermática, estos resultados deben analizarse con cautela ya que, los seres humanos pueden estar expuestos a varios factores que pueden interactuar de forma aditiva, sinérgica o antagónica. Factores como la edad, la dieta, el tabaquismo, la condición de salud, exposición a otras sustancias tóxicas, etc. pueden influir en el aumento de la absorción de plomo.⁽⁹⁾ Además, se debe tener en cuenta que la susceptibilidad a la toxicidad también puede estar influenciada por factores genéticos.⁽⁶²⁾

El estudio bibliográfico realizado demuestra la importancia de la vigilancia en salud ocupacional de los trabajadores que laboran con plomo, particularmente aquellos con exposiciones ambientales



significativas. Se recomienda considerar dentro del seguimiento a los trabajadores la promoción de la salud reproductiva y adoptar estilo de vida saludable.

Conclusiones

La exposición ocupacional al plomo afecta negativamente la salud humana, incluso a niveles bajos de toxicidad, por lo que resulta de vital importancia su adecuado diagnóstico; existiendo en Cuba regulaciones nacionales establecidas para el seguimiento al trabajador expuesto.

En la literatura científica internacional consultada se presentan varios estudios que relacionan la exposición laboral a plomo inorgánico con la disminución de la fertilidad masculina; no encontrándose investigaciones similares en trabajadores cubanos expuestos a este metal.

Referencias bibliográficas

1. Organización Mundial de la Salud (OMS). Intoxicación por plomo y salud. 2021 [acceso 14/04/2022]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>
2. Gaceta Oficial de la República de Cuba. Ministerio de Justicia. Resolución 283/14 Ministerio de Salud Pública. Listado de las enfermedades profesionales y procedimientos para su prevención, análisis y control de las mismas en el Sistema Nacional de Salud; La Habana. 2014 [acceso 15/03/2022]. Disponible en: http://www.gacetaoficial.cu/pdf/GO_X_029_2014.rar
3. INSAT. Programa Nacional de Salud Ocupacional. Dirección de Salud Ambiental. Ministerio de Salud Pública; 2015. (material impreso)
4. Gandhi J, Hernandez R, Chen A, Smith N, Sheynkin Y, Joshi G, *et al.* Impaired hypothalamic-pituitary-testicular axis activity, spermatogenesis, and sperm function promote infertility in males with lead poisoning. *Zygote*. 2017 [acceso 14/04/2022];25(2):103-10. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28185602/>
5. Colaboradores de Enciclopedia. Plomo. Enciclopedia, De la Enciclopedia Libre Universal en Español. 2017 [acceso 14/04/2022]. Disponible en: <http://enciclopedia.us.es/index.php/Plomo>



6. Colaboradores de EcuRed. Plomo. 2019 [acceso 03/03/2023]. Disponible en:
<https://www.ecured.cu/index.php?title=Plomo&oldid=3572967>
7. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). Resumen de Salud Pública-Plomo. 2016 [acceso 14/04/2022]. Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs13.html
8. Briceño L, Trillos CE, Varona M, Tolosa IA, Perdomo MM, Trillos MC, *et al.* Medicina Preventiva Ocupacional y Ambiental. Ed. El Manual Moderno: Bogotá; 2022 [acceso 03/10/2022]:564 p. Disponible en: <https://www.manualmoderno.com>
9. ATSDR. Toxicological Profile for Lead. 2020 [acceso 03/10/2022]. Disponible en:
<https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp13.pdf>
10. Díaz H. Toxicología ocupacional. Ed. Ciencias Médicas: La Habana; 2019 [acceso 03/10/2022]:195 p. Disponible en: <http://www.bvscuba.sld.cu/libro/toxicologia-ocupacional/>
11. Sanín L, González T, Romieu I, Hernández M. Acumulación de plomo en hueso y sus efectos en la salud. Salud Pública Mex. 1998 [acceso 14/04/2022];40:359-68. Disponible en:
<https://www.scielosp.org/article/spm/1998.v40n4/359-368/>
12. Gaza M, Hakim L, Sabarudin A, Bambang S. Evaluation on Mercury, Cadmium, and Lead in the Hair Sample as an Indicator of Autism for Children. Journal of Pharmaceutical and Clinical Research. 2017 [acceso 14/04/2022];9(12):710-5. Disponible en:
<http://impactfactor.org/PDF/IJPCR/9/IJPCR.Vol9,Issue12,Article3.pdf>.
13. Ramírez A. El cuadro clínico de la intoxicación ocupacional por plomo. An. Fac. Med. 2005 [acceso 02/03/2023];66(1):57-70. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/afm/v66n1/a09v66n1.pdf>
14. Bergeson L. The proposed lead NAAQS: Is consideration of cost in the clean air act's future? Wiley Online Library. 2008 [acceso 02/03/2023];18:79-84. Disponible en:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4961898/>
15. Fenga C, Gangemi S, Di Salvatore V, Falzone L, Libra M. Immunological effects of occupational exposure to lead (Review). Molecular Medicine Reports. 2017 [acceso 02/03/2023];15(5):3355-60. Disponible en: <https://www.spandidos-publications.com/mmr/15/5/3355>



16. Suárez S, Lizano J, de la Cruz K, Villón A. Plumbemia, estrés oxidativo y alteraciones respiratorias en población expuesta a contaminación ambiental en Lima Metropolitana. Diagnóstico. 2016[acceso 02/03/2023];55(2):61-5. Disponible en: <http://repebis.upch.edu.pe/articulos/diag/v55n2/a2.pdf>
17. López N, Calderón J. La respuesta pro-inflamatoria en la intoxicación por plomo. Revista de Educación Bioquímica. 2020 [acceso 02/03/2023];39(3):71-82. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/revedubio/reb-2020/reb203b.pdf>
18. García J, Méndez J, Pásaro E, Laffon B. Genotoxic effects of lead: an updated review. Environ Int. 2010;36(6):623-36. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2010.04.011>
19. Yucra S, Gasco M, Rubio J, Gonzales GF. Exposición ocupacional a plomo y pesticidas organofosforados: Efecto sobre la salud reproductiva masculina. Rev Peru Med Exp Salud Pública. 2008 [acceso 02/03/2023];25(4):394-402. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342008000400009&Ing=es.
20. Nordberg G. Metales: propiedades químicas y toxicidad. Parte IX Productos químicos. Capítulo 63. Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. 3ª edición. Organización Internacional del Trabajo. 1998 [acceso 15/06/2022]. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/162520/Cap%C3%ADtulo+63.+Metales+propiedades+qu%C3%AADmicas+y+toxicidad>
21. Cruz Y. Investigación de la plumbemia en trabajadores del área de producción de una fábrica de baterías en relación con la eficacia de medidas asumidas en el periodo junio 2014-junio 2015. Magister en Seguridad y Salud Ocupacional. Universidad Internacional SEK. Quito. 2015 [acceso 15/06/2022]. Disponible en: <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/1333>.
22. Lombardo G. Manual de toxicología laboral. 1ª ed. Universidad Nacional de Tres de Febrero. 2019[acceso 02/03/2023]. Disponible en: <https://dokumen.pub/manual-de-toxicologia-laboral-occupational-toxicology-1.html#Guillermo+Lombardo>
23. National Toxicology Program (NTP). Monograph on health effects of low-level lead. 2012 [acceso 26/10/2022]. Disponible en: https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/ohat/lead/final/monographhealtheffectslowlevellead_newissn_508.pdf



24. NIOSH. Division of Surveillance, Hazard Evaluations, and Field Studies. Adult Blood Lead Epidemiology and Surveillance (ABLES) - Program Description. Atlanta, S.f. 2017 [acceso 26/10/2022]. Disponible en: <http://medbox.iiab.me/modules/en-cdc/www.cdc.gov/niosh/topics/ables/description.html>
25. OMS. Directriz de la OMS 2021 para el tratamiento clínico de la exposición al plomo. 2021 [acceso 05/05/2022]. Disponible en: <https://www.who.int/es/publications/i/item/guideline-for-the-clinical-management-of-exposure-to-lead-executive-summary>
26. Organización de las Naciones Unidas (ONU). Programa para el medio ambiente. El mundo pone fin a la era de la gasolina con plomo. Comunicado de prensa. 2021 [acceso 05/05/2022]. Disponible en: <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/el-mundo-pone-fin-la-era-de-la-gasolina-con-plomo-y>
27. Zúñiga JA. Evaluación de condiciones de trabajo y riesgo ocupacional por exposición a plomo en reparadores de baterías en el Municipio de Cartagena-Bolívar. Maestría en Ciencias Ambientales. Universidad de Cartagena. 2019 [acceso 02/03/2023]. Disponible en: <https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/11802/Tesis%20de%20grado-Jose%20Zu%C3%B1iga%20De%20la%20Cruz%202019.pdf?sequence=1>
28. Bruguera N, Gallardo D, Barrios D, García V, Amalfi R, Díaz JA. El manejo de los productos químicos y desechos peligrosos en la gestión ambiental responsable de la Empresa Geominera de Pinar del Río, Cuba. Revista Ecovida. 2018 [acceso 02/03/2023];8(1). Disponible en: https://revistaecovida.upr.edu.cu/index.php/ecovida/article/view/129/html_1
29. MINCEX. Directorio de Entidades exportadoras e importadoras en Cuba. Minería. 2021 [acceso 01/10/2022]. Disponible en: <https://inviertaencuba.mincex.gob.cu/es/sectores/mineria/>
30. Sardiña JA. Análisis y diseño del proceso de reciclaje de baterías de plomo-ácido en la empresa Funalco de la Unión de recuperación de materias primas. Tesis de Diploma. La Habana; 2010 (material impreso).
31. Jaime A, González RM, Villalba L, Castillo C, Cabrera C, Díaz H, *et al.* Comportamiento del ácido 5-aminolevulínico en orina y de protoporfirina eritrocitaria en trabajadores cubanos expuestos a plomo



- inorgánico, 2016-2017. Rev Cuba Salud Trabajo. 2019 [acceso 02/03/2023];20(3):49-55. Disponible en: <https://revsaludtrabajo.sld.cu/index.php/revsyt/article/download/87/170>
32. Pérez T, Jaime A, Díaz H, Cabrera C, Villalba L. Evaluación biológica de la exposición laboral al plomo. Rev Cubana de Salud Pública. 2021 [acceso 05/12/2022];47(1):e1939. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34662021000100005
33. Rodríguez D. Intoxicación ocupacional por metales pesados. MEDISAN. 2017 [acceso 10/01/2021];21(12). Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3684/368454498012.pdf>
34. Zegers-Hochschild F, Adamson GD, de Mouzon J, Ishihara O, Mansour R, Nygren K, *et al.* International Committee for Monitoring Assisted Reproductive Technology (ICMART) and the World Health Organization (WHO) revised glossary of ART terminology, 2009. Fertil Steril. 2009;92:1520-4. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2009.09.009>
35. Sun H, Gong T, Jiang Y, Zhang S, Zhao Y, Wu Q. Global, regional, and national prevalence and disability-adjusted life-years for infertility in 195 countries and territories, 1990–2017: Results from a global burden of disease study, 2017. Aging (Albany NY). 2019 [acceso 02/03/2023];11(23):10952-91. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6932903/>
36. Ministerio de Salud Pública (CUB). Atención a la pareja infértil en Cuba. Aspectos metodológicos. Ed. Ciencias Médicas: La Habana. 2021 [acceso 29/01/2022]. Disponible en: <http://www.bvscuba.sld.cu/libro/atencion-a-la-pareja-infertil-en-cuba-aspectos-metodologicos/>
37. OMS. WHO Laboratory Manual for the Examination and Processing of Human Semen, 5th ed. Switzerland: WHO press. 2010 [acceso 29/01/2022]. Disponible en: <https://www.who.int/docs/default-source/reproductive-health/srhr-documents/infertility/examination-and-processing-of-human-semen-5ed-eng.pdf>
38. Álvarez J. Nuevos avances en el estudio de la integridad del DNA espermático. Rev. ASEBIR. 2006 [acceso 14/10/2022];11(1):14-22. Disponible en: <https://revista.asebir.com/assets/asebir-junio-2006.pdf>
39. Dohle G, Diemer T, Giwercman A, Jungwirth A, Kopa Z, Krausz C. Guía clínica sobre la infertilidad masculina. European Association of Urology©. 2010 [acceso 10/10/2022]. Disponible en: https://www.aeu.es/UserFiles/13-GUIA_CLINICA_SOBRE_INFERTILIDAD_MASCULINA.pdf



40. Vázquez F, Vázquez D. Espermograma y su utilidad clínica. Artículo de revisión. Salud Uninorte. Barranquilla. 2007 [acceso 02/03/2023];23(2):220-30. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/817/81723209.pdf>
41. Lewis S. The place of sperm DNA fragmentation testing in current day fertility management. Middle East Fertil Soc J. 2013;18:78-82. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mefs.2013.01.010>
42. Bungum M, Bungum L, Giwercman A. Sperm chromatin structure assay (SCSA): a tool in diagnosis and treatment of infertility. Asian J. Androl. 2011 [acceso 02/03/2023];13:69-75. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3739398/>
43. Tello M. Evaluación de marcadores de calidad y función espermáticas y su utilidad como predictores del potencial fértil en la fertilización in vitro. Tesis doctoral. Centro de investigación y de estudios avanzados del Instituto Politécnico Nacional. México. 2018 [acceso 29/10/2022]. Disponible en: <https://repositorio.cinvestav.mx/bitstream/handle/cinvestav/3564/SSIT0015776.pdf?sequence=1>
44. Khadem N, Poorhoseyni A, Jalali M, Akbary A, Heydari ST. Sperm DNA fragmentation in couples with unexplained recurrent spontaneous abortions. Andrologia. 2014;46:126p. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/and.12056>
45. Sakkas D, Álvarez J. Fragmentación del ADN espermático: mecanismos de origen, repercusión en los resultados reproductivos y análisis. Rev Mex Med Repro. 2011 [acceso 02/03/2023];4(3):160-75. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/reproduccion/mr-2011/mr114d.pdf>
46. Portella J, Gonzales G. Fragmentación del ADN espermático: origen, evaluación y repercusión en la fertilidad masculina. Ginecol Obstet Mex. 2016 [acceso 02/03/2023];84(7):455-61. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/ginobsmex/gom-2016/gom167i.pdf>
47. Bungum M, Bungum L, Giwercman A. Sperm chromatin structure assay (SCSA): a tool in diagnosis and treatment of infertility. Asian J. Androl. 2011 [acceso 02/03/2023];13:69-75. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3739398/>
48. Evenson D, Wixon R. Meta-analysis of sperm DNA fragmentation using the sperm chromatin structure assay. Reprod Biomed Online. 2006 [acceso 02/03/2023];12(4):466-72. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16740220/>



49. Lafuente, R. Efecto de los factores ambientales en la calidad espermática del hombre. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona. España. 2017 [acceso 02/03/2023]. Disponible en: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/456559/rslv1de1.pdf;jsessionid=C83936FB8274CCDC048F7E8AB6B0CD5E?sequence=1>
50. Espinoza O, Cortés S, Monreal J, Ferreccio C. Análisis de las variables del espermograma en jóvenes sanos en Arica-Chile. Rev Med Chile. 2010 [acceso 02/03/2023];138(12):1510-6. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0034-98872010001300006&script=sci_arttext&lng=pt
51. Gutierrez J, Robles L, Saez P, Gomez M. Actualización sobre COVID-19 e Histofisiología del sistema reproductor masculino. Int. J. Morphol. 2022 [acceso 02/03/2023];40(2):474-9. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-95022022000200474&script=sci_arttext&lng=pt
52. Quintana D, Fariñas L, Herrera A, Cardo Y, Linares M, Quintana D. Factores de riesgo en hombres infértiles con fragmentación del ADN espermático. Revista Cubana de Genética Comunitaria. 2020 [acceso 02/03/2023];13(2):e88. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/revcubgencom/cgc-2020/cgc202b.pdf>
53. Baños I. Exposición a pesticidas. Su influencia negativa en la fertilidad masculina. Tesis de Doctorado. Pinar del Río. 2009 [acceso 02/03/2023]. Disponible en: <http://tesis.sld.cu/index.php?P=AdvancedSearch&Q=Y&SR=0&SD=0&G104=2493&SF=62>
54. Pombo M, Castro-Feijóo L, Barreiro J, Cabanas P. Una revisión sobre los disruptores endocrinos y su posible impacto sobre la salud de los humanos. Rev Esp Endocrinol Pediatr. 2020 [acceso 02/03/2023];11(2):33-53. Disponible en: <https://www.endocrinologiapediatrica.org/revistas/P1-E35/P1-E35-S2799-A619.pdf>
55. López A, Velasco I, Acién M, Sáez P, Todolí JL, Sánchez R, *et al.* Impact of Heavy Metals on Human Male Fertility—An Overview. Antioxidants. 2021 [acceso 02/03/2023];10(9):1473. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/antiox10091473>
56. Bonde JP, Joffe M, Apostoli P, Dale A, Kiss P, Spano M, *et al.* Sperm count and chromatin structure in men exposed to inorganic lead: lowest adverse effect levels. Occup Environ Med. 2002 [acceso 02/03/2023];59:234-42. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1740274/>



57. Naha N, Chowdhury AR. Inorganic lead exposure in battery and paint factory: effect on human sperm structure and functional activity. J UOEH. 2006 [acceso 02/03/2023];28(2):157-71. Disponible en: https://www.jstage.jst.go.jp/article/juoeh/28/2/28_KJ00004314226/_pdf
58. Xu DX, Shen HM, Zhu QX, Chua L, Wang QN, *et al.* The associations among semen quality, oxidative DNA damage in human spermatozoa and concentrations of cadmium, lead and selenium in seminal plasma. Mutat Res. 2003 [acceso 02/03/2023];534:155–63. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12504764/>
59. Morán J. La contaminación ambiental y ocupacional por plomo y sus efectos en la salud reproductiva masculina, evidencia de daño al ADN. RICS. 2012 [acceso 29/10/2022];1(2):1-36. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5045746>
60. Morán J, Carranza P, Morales M, Heredia JA, Bassol S, Betancourt ND, *et al.* Chronic environmental exposure to lead affects semen quality in a Mexican men population. Iran J Reprod Med. 2013 [acceso 02/03/2023];11(4): 267-74. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3941425/>
61. Wu HM, Lin-Tan DT, Wang ML, Huang HY, Lee CL, Wang HS, *et al.* Lead level in seminal plasma may affect semen quality for men without occupational exposure to lead. Reprod Biol Endocrinol. 2012 [acceso 02/03/2023];10:91. Disponible en: <https://rbej.biomedcentral.com/articles/10.1186/1477-7827-10-91>
62. Pant N, Kumar G, Upadhyay AD, Gupta YK, Chaturvedi PK. Correlation between lead and cadmium concentration and semen quality. Andrologia. 2015;47:887-91. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/and.12342>
63. Hernández I, García G, López L, Rubio M, Morán J, Cebrián M, *et al.* Low lead environmental exposure alters semen quality and sperm chromatin condensation in northern Mexico. Reprod Toxicol. 2005 [acceso 02/03/2023];20(2):221-8. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0890623805000262>
64. Mínguez L, Mendiola J, Roca M, López JJ, Guillén JJ, Moreno JM, *et al.* Correlations between Different Heavy Metals in Diverse Body Fluids: Studies of Human Semen Quality. Adv. Urol. 2012



[acceso 02/03/2023];2012:420893. Disponible en:

<https://downloads.hindawi.com/journals/au/2012/420893.pdf>

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución de los autores

Conceptualización: Tania Pérez Bueno, Arelis Jaime Novas.

Análisis formal: Tania Pérez Bueno, Arelis Jaime Novas.

Investigación: Tania Pérez Bueno, Arelis Jaime Novas, Lucía Fariñas Rodríguez, Magali Menéndez González, Yuandia Pacheco González, Judith Pupo Balboa.

Metodología: Tania Pérez Bueno, Arelis Jaime Novas, Lucía Fariñas Rodríguez, Magali Menéndez González, Yuandia Pacheco González, Heliodora Díaz Padrón, Judith Pupo Balboa.

Verificación: Tania Pérez Bueno, Arelis Jaime Novas, Heliodora Díaz Padrón, Judith Pupo Balboa.

Visualización: Tania Pérez Bueno, Arelis Jaime Novas, Lucía Fariñas Rodríguez.

Redacción - borrador original: Tania Pérez Bueno.

Redacción - revisión y edición: Tania Pérez Bueno, Arelis Jaime Novas, Lucía Fariñas Rodríguez, Heliodora Díaz Padrón, Judith Pupo Balboa.



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)