

## **|ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN**

### **TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN**

**Exposición a Bifenilos policlorados: efectos en la salud y en ambiente.  
Revisión de la literatura, 2000 a 2017.**

**Exposure to polychlorinated biphenyls: effects on health and environment.  
Review of the literature, 2000 to 2017.**

**Autores:**

**Sergio Steven Valero Navas  
Jaime Orlando Tusso Barragan**

### **RESUMEN**

**Introducción:** los bifenilos policlorados (PCBs por sus siglas en inglés en inglés), son un grupo de sustancias químicas sintéticas que se utilizan en una amplia gama de productos como aparatos eléctricos, revestimientos de superficies, tintas, adhesivos, pirorretardantes y pinturas. Los PCBs pueden liberarse al ambiente al incinerar o almacenar en vertederos residuos que los contienen. Cerca del 10% de los PCBs fabricados desde 1929 siguen presentes en el medio ambiente. Hoy en día la fabricación y utilización de estos está prohibida o sometida a restricciones importantes en muchos países, debido a su impacto sobre la salud y el ambiente.

**Objetivo:** identificar el efecto de la exposición a las sustancias químicas empleadas como bifenilos policlorados, en trabajadores expuestos en diferentes actividades económicas así como los efectos sobre el ambiente.

**Materiales y métodos:** se realizó un proceso de revisión bibliográfica, el cual estuvo centrado en artículos de los últimos 10 años, en idiomas inglés y español, a texto completo. Las bases de datos consultadas fueron Academic Search Complete, Science Direct, Complementary Index, Science Citation index, Business Source Complete, MasterFILE Premier, Newspaper Source, Scopus, Supplemental Index y

GreenFILE. Las palabras clave empleadas fueron bifenilos policlorados, ambiente, salud, efectos, encontrando un total de 32 artículos que cumplieron con los criterios de selección.

**Resultados:** la exposición a los bifenilos policlorados desencadena efectos dermatológicos, alteraciones sobre el sistema inmunológico, reproductivo y endocrino. En el ambiente, no se degradan fácilmente pudiendo permanecer por largo tiempo y ser transportados largas distancias. En la actualidad mas del 60% de los países a nivel mundial reconocen que la exposición a Bifenilos policlorados puede llegar a ser un problema de salud publica.

**Conclusión:** son innegables los efectos sobre la salud y en el ambiente por lo que se requiere emplear metodologías de evaluación de riesgos que permiten conocer la exposición y controlar o minimizarla.

**PALABRAS CLAVES:**

Bifenilos policlorados, ambiente, salud, efectos

**ABSTRACT**

**Introduction:**

Polychlorinated biphenyls, known by the acronym PCBs, are a group of synthetic chemicals that are used in a wide range of products, such as electrical appliances, surface coatings, inks, adhesives, flame retardants and paints. PCBs can be released into the environment, for example, by incinerating or storing waste that contains them. About 10% of the PCBs manufactured since 1929 are still present in the environment. Today, the manufacture and use of PCBs is prohibited or subject to significant restrictions in many countries, due to their impact on health and the environment.

**Objective:**

Identify the exposure to the chemical substances used as polychlorinated biphenyls in workers exposed to different economic activities and the effects on the environment.

**Materials and methods:** a bibliographic review process was carried out, which focused on articles of the last 10 years, in English and Spanish, in full text. The databases consulted were Academic Search Complete, Science Direct, Complementary Index, Science Citation index, Business Source Complete, MasterFILE Premier, Newspaper Source, Scopus, Supplemental Index and GreenFILE. The key words used were polychlorinated biphenyls, environment, health, effects, finding a total of 32 articles that met the selection criteria.

**Results:** exposure to polychlorinated biphenyls triggers dermatological effects, alterations on the immune, reproductive and endocrine systems. In the environment, they do not degrade easily, being able to stay for a long time and be transported long distances. Currently more than 60% of countries worldwide recognize that exposure to polychlorinated biphenyls can become a public health problem

**Conclusion:**

Exposure to polychlorinated biphenyls in different studies shows a direct relationship with the work environment, since this can occur during the repair and maintenance of transformers with PCBs triggering dermatological effects, alterations on the immune, reproductive and endocrine system, therefore, it is necessary to use risk assessment methodologies that allow to know the exposure and control or minimize it. In the environment, they do not degrade easily, being able to stay for a long time and be transported long distances.

**Key words:**

Polychlorinated biphenyls, environment, health, effects

**INTRODUCCIÓN**

Los bifenilos policlorados (PCBs) fueron usados por primera vez en Alemania en 1881 por su utilidad en transformadores eléctricos, debido a sus fuertes propiedades de fortaleza al calor y versatilidad en aplicaciones industriales<sup>1</sup>. Posteriormente se comenzó a tratar como un elemento peligroso, lo cual desencadenó que tuviera uso controlado en algunos países a partir del año 1979, específicamente en Sudamérica el uso de este componente fue restringido en 1986<sup>2</sup>. Los PCBs desde su fabricación han entrado a matrices ambientales, no solo por su uso sino a través de derrames y escapes accidentales durante su transporte o en incendios de transformadores, condensadores o de otros productos que los contienen. Debido a que los dispositivos que tienen PCBs pueden sufrir escapes a medida que envejecen, también pueden constituir fuentes de exposición. Los desechos de estos muchas veces han sido colocados en vertederos y aún pueden ser liberados al ambiente desde sitios de desechos peligrosos mal mantenidos, a través de descargas ilegales o impropias de residuos de PCBs, y por la disposición de productos de consumo que los contienen. Desde el punto de vista ocupacional, la exposición puede ocurrir durante la reparación y mantenimiento de transformadores con PCBs. En Colombia todavía en algunas zonas se encuentran transformadores con PBCs que pueden estar en uso, en desecho o en almacenamiento, pues su vida útil es alrededor de 25 a 35 años<sup>3</sup>.

El ministerio de Ambiente de la Republica de Colombia (MINAMBIENTE) reconoce un inventario estimado de las reservas globales de PBCs en uso entre 9.771 y 12.803 toneladas, otros países de la región como Venezuela, tiene un rango entre 6.500 y 10.000 toneladas, Brasil cuenta con aproximadamente unas 80.000

toneladas y Uruguay con 4.150 toneladas<sup>4</sup>, siendo así Colombia uno de los países con mayor cantidad de toneladas de PBCs<sup>5</sup>.

Los bifenilos policlorados son sustancias con una alta estabilidad química y resistencia térmica, fueron empleados principalmente como componentes de aparatos eléctricos e hidráulicos y de lubricantes<sup>6</sup>. Debido a la toxicidad para los humanos, sus efectos carcinogénicos y su elevada persistencia en el ambiente, varios países limitaron su uso.

Constituyen una subserie de los hidrocarburos clorados. La fórmula química de los PCB's es  $C_{12}H_{(10-n)}Cl_n$ , el número de átomos de cloro puede variar entre 1 y  $10^7$ . Esta clase incluye a todos los compuestos que tienen la estructura de bifenilo, es decir, dos anillos de benceno enlazados entre sí, y que están clorados en grados diversos<sup>8</sup>. Existen 209 combinaciones posibles.

Son compuestos de elevada toxicidad (DL50 en ratas=1,6 g/Kg), persistentes en el ambiente, de escasa biodegradabilidad y con la posibilidad de bioacumularse<sup>9</sup>. Son líquidos de viscosidad variable, de consistencia resinosa por contener cantidades elevadas de cloro, tienen una alta estabilidad química, por lo que son difíciles de destruir, poseen una baja presión de vapor, alta capacidad calorífica, baja conductividad eléctrica y alta constante dieléctrica y son poco volátiles a temperatura ambiente<sup>10</sup>.

Cuando su estado físico es líquido se encuentran como una sustancia aceitosa con un color amarillo ligero o sólido, en donde los PCB's se presentan como un polvo blanco<sup>11</sup>. Su densidad es más elevada que la del agua por lo cual la solubilidad es limitada pudiendo quedar inmovilizados en los suelos y acumularse en los seres vivos<sup>12</sup>.

Los PCB's se han utilizado con mucha frecuencia como aditivos a aceites en equipos eléctricos, maquinaria accionada por fluidos hidráulicos y en otras

aplicaciones como en pigmentos para pinturas, barnices, tintas para impresión, balastros, ceras de pisos, plastificantes en resinas y hules, papel para copia libre de carbón, interruptores de alta tensión, entre otros, en las que se requiera estabilidad química por razones de duración, de seguridad u operativas.

En general, los PCBs pueden encontrarse tanto en sistemas cerrados como abiertos. En los cerrados los PCBs se mantienen dentro del equipo, la población no se encuentra expuesta y no hay contaminación de matrices ambientales. Las emisiones de PCBs pueden ocurrir en este caso, en actividades de mantenimiento y reparación o como resultado de un daño en el equipo. En los sistemas parcialmente cerrados los PCBs no están expuestos directamente al ambiente, pero pueden llegar a liberarse periódicamente por el uso del equipo y en los abiertos, los PCBs son constituyentes de otros productos que se encuentran fácilmente en contacto con el ambiente y el ser humano.

Los procesos y lugares que usualmente se encuentran relacionados con la descarga de estas sustancias contaminantes son los siguientes:

Sistemas cerrados: transformadores, condensadores, hornos de microondas, aires acondicionados, motores eléctricos, balastros para lámparas eléctricas y electroimanes.

Sistemas semicerrados: fluidos hidráulicos, fluidos de transferencia de calor, conmutadores, interruptores automáticos, bombas de vacío y cables eléctricos.

Sistemas abiertos: tintas y tinturas, lubricantes, ceras, retardantes de llama, adhesivos, recubrimiento de superficies, aislantes, uso de plaguicidas, almacenamiento y uso de pinturas y producción de asfaltos.

La estabilidad química y sus propiedades físicas han sido aprovechadas en la industria y por esto su gran uso comercial, pero al mismo tiempo se ha creado un grave problema ambiental por ser altamente contaminante cuando los PCB's son

liberados al ambiente. Se han podido detectar en las matrices ambientales agua, aire y suelo y se encuentran muy difundidos en casi todos los lugares del planeta<sup>13</sup>.

El ciclo de redistribución de los PCB's se inicia con la volatilización a partir del agua hacia la atmósfera, luego son transportados por el aire y posteriormente por deposición húmeda regresan al agua, para dar inicio de nuevo al ciclo global<sup>13</sup>. Se mantienen inmóviles en los suelos donde el carbono orgánico actúa como sumidero natural de las sustancias lipofílicas no polares.

El proceso ecológico de contaminación se inicia por el transporte de los PCB's por aire, suelo y agua, de esta manera llega hasta los mares hasta entrar en contacto con el plancton, invertebrados, pasa a los peces, a los pájaros, a los mamíferos hasta llegar a los humanos, es decir, se biomagnifica a través de los eslabones de la cadena trófica<sup>14</sup>.

Una inadecuada combustión de los PCB's puede generar dioxinas y furanos los cuales son muchísimas veces más tóxicos que los mismos bifenilos policlorados.

Dentro de los efectos sobre la salud han sido reportados efectos dermatológicos, alteraciones sobre el sistema inmunológico, reproductivo y endocrino (actuando como disruptores endocrinos). En animales de laboratorio se ha reportado el desarrollo cáncer hepático, gastrointestinal y linfático<sup>15</sup>. Tanto la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés)<sup>16</sup> como la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés)<sup>17</sup>, han determinado que los PCBs son probablemente carcinogénicos en seres humanos.

Todo lo anterior, hace relevante el estudio de los PBCs en la salud y en el ambiente con el fin de conocer el panorama de la exposición a estos.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Se llevó a cabo una revisión de la literatura sobre efectos en salud de los bifenilos policlorados en trabajadores y sobre el ambiente.

La revisión se realizó en un rango de 10 años (2007 – 2017) y se incluyeron artículos en idioma inglés y español. Las bases de datos utilizadas se muestran en la tabla 1:

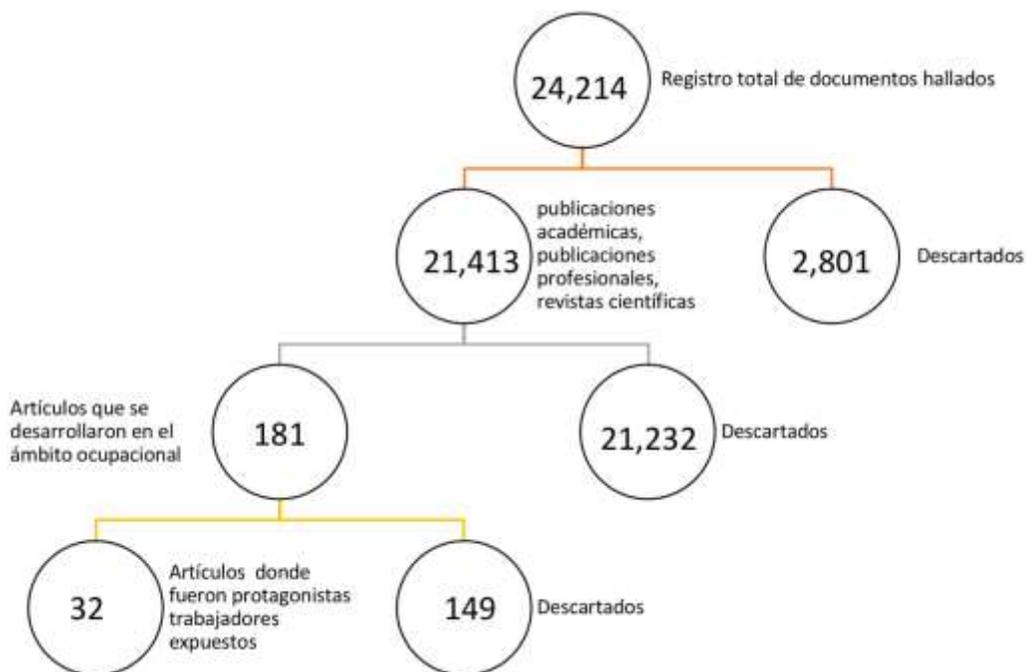
**TABLA 1**

1	Academic Search Complete.	6	MasterFILE Premier.
2	Science Direct.	7	Newspaper Source.
3	Complementary Index.	8	Scopus.
4	Science Citation index.	9	Supplemental Index.
5	Business Source Complete.	10	GreenFILE.

El procedimiento para la selección de los artículos fue el siguiente:

1. Inicio de búsqueda: teniendo en cuenta los criterios de selección se encontraron 21.413 documentos que cumplían con estos.
2. Selección de los artículos: adicional a los criterios de selección, se tuvo en cuenta que estuvieran a texto completo y que la exposición fuera de tipo laboral, por lo que se descartaron 21.232 artículos, quedando 181 de ellos. De estos se descartaron 149 ya que no reportaban efectos sobre la salud o el ambiente, quedando finalmente 32 artículos (gráfico 1).

Grafica 1. Algoritmo para la selección de los artículos



En relación a las consideraciones éticas, la presente revisión de información se ajustó a las “Normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud”, establecidas en la resolución No. 008430 de 1993 del Ministerio de Salud, y se tuvo en cuenta la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial, en donde se explican los principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos. Esta investigación se clasifica como sin riesgo, ya que únicamente se llevó a cabo una revisión de información.

## RESULTADOS

Se clasificaron los artículos revisados según el tipo de estudio con el fin de hacer una comparación entre ellos y mostrar las conclusiones más importantes

relacionadas con la exposición a bifenilos policlorados en trabajadores expuestos y los efectos sobre ambiente.

## **EFFECTOS EN LA SALUD**

### **Estudios de casos y controles**

El proceso descrito en la metodología tuvo como objeto analizar los 32 artículos científicos seleccionados, el 18,75% de las investigaciones revisadas eran estudios de casos y controles. Ndaw S y cols y Kovanecz I y cols en el 2017 reportaron trabajadores que tuvieron contacto directo con estas sustancias<sup>18</sup>, generando patologías hormonales y reproductivas dentro de las cuales estuvo la disfunción eréctil<sup>19</sup>. Estudios como el de Faraci P y cols en el 2017 mostraron que la exposición prolongada a altas dosis de PBC's en específico al BPA (Bifensol A), producen disrupción endocrina, ya que pueden imitar la acción de la hormona tiroidea y de los estrógenos<sup>20</sup>.

Frente a la creciente preocupación por los efectos sobre la salud que enfrenta la exposición a los PCBs, B'Hymer C y cols desarrollaron un método para la detección y cuantificación del ácido 3-bromopropiónico (3-BPA) en orina de trabajadores ocupacionalmente expuestos y relacionaron estas mediciones con síntomas neurológicos como cefalea, mareos, depresión y nerviosismo entre otros<sup>21</sup>.

### **Estudios de corte transversal**

El 50% de los artículos correspondieron a estudios de corte transversal en los que se investigó la relación entre la exposición de los trabajadores de diferentes industrias a los PCB's<sup>22</sup> y los efectos sobre la salud.

Toyama y cols en el 2004 reportaron la pérdida de las capacidades reproductivas, así como disminución de la libido y disfunción eréctil como efectos de la exposición al BPA<sup>23</sup> en trabajadores de industrias productoras de resina epoxica (compuesta por epiclorohidrina y bisfenol A y usada principalmente en el revestimiento de latas

destinadas al almacenamiento de alimentos), así como en trabajadores de industrias productoras de transformadores, condensadores y disyuntores (debido a sus propiedades dieléctricas).

Otros estudios como el de Miao M y cols <sup>25</sup>, demostraron que estos elementos no solo producen efectos reproductivos en el hombre, sino que también tienen afectaciones en la salud de las mujeres, específicamente hormonales, observando que entre mayores eran las concentraciones de BPA en la orina, se incrementaban también los niveles de prolactina y de progesterona.

### **Estudios de revisión de la literatura**

Estos estudios equivalen al 31,25% del total de los artículos revisados, en los cuales se resalta la importancia de llevar a cabo una evaluación de riesgo en los lugares de trabajo donde haya exposición ocupacional a los PCB's<sup>24</sup>. Se resaltan estudios llevados a cabo por MIAO M y cols (2015) como el realizado en 4 industrias ubicadas en el centro y norte de China, en el que participaron 167 trabajadores directamente expuestos, de los cuales el 70% eran hombres, con una edad promedio de 33.1 años, a quienes les fueron tomadas muestras de sangre antes y después de la exposición, encontrando la presencia de BPA en la sangre en más del 90% de ellos.

Chalupka S. y cols en el 2017 estudiaron el grado de exposición de las personas por medio de elementos cotidianos que pueden contener BPA como las latas, debido que algunas de ellas contiene estas sustancias en su revestimiento, así como los elementos plásticos como biberones, platos y vasos y su repercusión sobre la salud. Los principales efectos reportados fueron reproductivos como también incremento de prolactina y progesterona y en general repercusiones en el sistema endocrino. Los PCBs se han relacionado con la diabetes tipo II. Aunque estas asociaciones aún no están claras, han sido explicadas a través de diferentes mecanismos como cambios en la expresión génica, alteración del metabolismo de lípidos, esteroides y del transporte de glucosa, cambios en la vía de señalización de la insulina, perturbación del sistema endocrino, entre muchos otros mecanismos

propuestos. Los autores mencionan una serie de recomendaciones como usar alternativas seguras como vidrio, disminuir el consumo de alimentos enlatados y no mezclar alimentos para bebés en contenedores de plástico, entre otras<sup>25</sup>. Todos estos elementos que se usan diariamente en los sitios de trabajo, así como en el hogar, se reportan como una exposición ocupacional silenciosa.

Layton L y cols en el 2015 realizaron un estudio sobre las diferentes patologías que pueden producir los BPA y BCP's como la disfunción eréctil<sup>26</sup> en hombres y alteraciones hormonales en mujeres<sup>27</sup>, así como en la aparición de carcinomas de diversos tipos como tumores hepáticos benignos y malignos, linfomas y leucemias y carcinomas del aparato digestivo. Esto debido a que la exposición a BPA induce la inhibición de la actividad de una gran número de enzimas, con la consiguiente alteración de los procesos biológicos normales. Facilita también la inhibición de genes, proteínas reguladoras de los procesos apoptóticos, los cuales son determinantes en el crecimiento de tumores, tal como lo reportó García A y cols en el 2015<sup>31</sup>.

## **EFFECTOS SOBRE EL AMBIENTE**

Por sus características físico-químicas, los PCBs pueden encontrarse en todas las matrices ambientales (aire, agua, suelos, sedimentos y biota). Las descargas ocurren durante las actividades de manufactura de los mismos, el uso de productos que contengan estas sustancias y la disposición física como desechos. Los principales procesos que liberan estas sustancias contaminantes al ambiente son derrames accidentales, escapes durante su transporte o la incineración de productos compuestos de PCBs emitiéndose directamente a la atmósfera terrestre<sup>10</sup>.

Así mismo, debido a su tiempo de vida media, los PCBs no se degradan fácilmente en el ambiente, lo que hace que permanezcan en una matriz determinada por un tiempo prolongado o incluso migren a otra. Luego de ser vertidos en un cuerpo de agua, pueden permanecer entre 3 meses y dos años sin sufrir transformaciones o

degradarse, en suelos y sedimentos no carbonáceos permanecen en promedio más de 6 años y en peces adultos más de 10 años<sup>9</sup>. Como contaminante atmosférico, hace parte de una familia de especies químicas denominada Compuestos Orgánicos Persistentes, y su tiempo de vida, aunque prolongado, depende de la interacción con otras sustancias, las reacciones fotoquímicas y la deposición húmeda y seca entre otros procesos<sup>3</sup>.

En suelos porosos, al ser descargados, los PCBs experimentan una fuerte adsorción, que generalmente aumenta con el grado de cloración de cada una de las especies. No obstante, dependiendo de las características de los suelos y su cercanía con el nivel freático, los PCBs pueden llegar a infiltrarse en el subsuelo y contaminar acuíferos y pozos de agua subterránea. Debido a su baja solubilidad, no sufren una lixiviación significativa en sistemas de suelos acuosos.

En el agua, los PCBs son incorporados en pequeños organismos acuáticos y peces, también en animales que se alimentan de estos. Los PCBs se acumulan especialmente en peces y en mamíferos marinos (tales como focas y ballenas), alcanzando niveles que pueden ser miles de veces más altos que los que se encuentran en el agua. El grado de cloración no sólo disminuye la solubilidad de los PCBs, también hace que las especies sean más persistentes a la degradación química o biológica. En cuerpos de agua, las moléculas de estas sustancias permanecen principalmente adsorbidas y no disueltas. La tasa de volatilización de los PCBs también está dada función del grado de cloración, las sustancias con mayores átomos de cloro son menos volátiles.

El principal mecanismo de transporte de estas sustancias en las distintas matrices ambientales se da a partir de procesos de bioacumulación. Al ser poco solubles y persistentes en medios acuosos, se ha demostrado que los PCBs se bioconcentran considerablemente en los organismos acuáticos, alimentando los distintos componentes de la cadena trófica, incluyendo a los seres humanos.

Se estima que al menos un 15% del total de los PCB producidos a nivel mundial, ha llegado al ambiente.

Otros de los resultados encontrados en las diferentes investigaciones se reportan en la tabla 1.

**TABLA 1. Efectos en la salud y el ambiente producidos por la exposición a PCBs**

AUTORES/AÑO	PAIS	TIPO DE ESTUDIO	TAMAÑO DE MUESTRA	OBJETIVO	CARACTERISTICAS DE LA POBLACIÓN/REGION	RESULTADOS
KOUIDHI W; SAU C; MOHD M, 2017	Malasia	Estudio transversal	Trabajadores de la fábrica de plástico - grupo de estudio (n = 70)	Determinar la exposición a Bisphenol-A (BPA) en el moldeo de plásticos en obreros de una fábrica en Malasia.	Población con exposición de 3 meses a 15 años, con edades entre 19 y 50 años de edad y sujetos control con edades similares.	El bisfenol A fue detectado con un rango de 8 a 28.3 ng/m <sup>3</sup> en la moldura del plástico de la fábrica y de 2,4-3,59 ng/m <sup>3</sup> en el aire del ambiente. La mediana de la concentración de BPA urinario fue significativamente mayor en los trabajadores (3,81 ng/ml) que en los sujetos controles (0,73 ng/ml) ( p < 0,01)
MIAO M, ET AL, 2015	China	Estudio transversal	Se incluyeron 106 mujeres expuestas y 250 no expuestas	El grupo expuesto pertenecía a una fábrica de resinas epóxicas y el no expuesto eran mujeres que laboraban en una fábrica de textiles.	Las mujeres expuestas tenían mínimo 6 meses de exposición en la fábrica entre los 18-45 años, fueron excluidas las que tenían diabetes, enfermedades	Una asociación significativamente estadística se encontro entre los niveles de Bisphenol-A (BPA) en orina y los de prolactina y progesterona entre el

					coronarias e infecciones crónicas. Los controles tenían edades similares.	grupo expuesto y el control ( $p < 0,05$ ).
MIAO M, ET AL, 2011.	China	Estudio transversal	Estuvo constituida por 153 niños de 56 mujeres embarazadas y expuestas a Bisphenol-A (BPA) trabajadores en una fábrica de plásticos y de 97 que no estaban embarazadas	Determinar el efecto como disruptores endocrinos del Bisphenol-A (BPA) en niños de madres expuestas y compararlo con los niños de madres control .	Niños recién nacidos de madres expuestas a Bisphenol-A (BPA) y niños de madres no expuestas	Se encontró una asociación entre los niveles de Bisphenol-A (BPA) en orina entre las mujeres expuestas y el grupo control ( $p < 0.01$ ). También se halló una distancia anogenital mayor de los niños de madres expuestas que de los de madres no expuestas, mostrando los efectos del Bisphenol-A (BPA) como disruptor endocrino.
LI D, ET AL, 2010	China	Estudio de cohorte	Participaron 230 trabajadores que laboraban en una empresa donde se empleaban resinas épicas expuestas a Bisphenol-A (BPA) y un grupo control de 284 no expuestos en su lugar de	Medir la concentración de Bisphenol-A (BPA) en aire y en orina de trabajadores expuestos y de los controles y determinar la función sexual de los mismos.	Los trabajadores laboraban en una empresa de plásticos donde utilizaban resina epoxi que contenía Bisphenol-A (BPA) como materia prima. Los expuestos empleaban directamente esta sustancia y los controles no la utilizaban. Ambos grupos dieron muestras de orina para la determinación de BPA que se realizó por	Los trabajadores expuestos tenían un riesgo casi 4 veces mayor de deseo sexual reducido (OR = 3.9, IC 95% 1.8-8.6), un riesgo 4 veces mayor de dificultad de erección asociada con la exposición al BPA (OR = 4.5, IC 95% 2.1-9.8), más de 7 veces mayor riesgo de dificultad de eyaculación (OR = 7.1, IC 95% 2.9-17.6)

			trabajo a dicha sustancia química. Se siguieron durante los años 2004 al 2008.		cromatografía líquida de alto rendimiento. Se les realizó una encuesta con datos sociodemográficos y laborales, examen médico y se utilizó un instrumento validado para averiguar alteraciones sobre la función sexual.	y casi 4 veces mayor riesgo de reducción de la satisfacción general con la vida sexual (OR = 3.9, IC 95% 2.3 -6.6) Mayores niveles de BPA en la orina se encontraron en los expuestos que en los controles ( $p < 0,05$ ).
Stephanie Chalupka 2010	Estados Unidos	Revisión literaria	No aplica	Revisión sobre efectos en la salud por bifenilos policlorados	Población ocupacionalmente expuesta y población general	Actúan como disruptores endocrinos, se ha demostrado efectos sobre la reproducción y anomalías cromosómicas. En animales de laboratorio se ha reportado el desarrollo de cáncer hepático, gastrointestinal y linfático. Tanto la Agencia de Protección Ambiental (EPA) como la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC), han determinado que los PCBs son probablemente carcinogénicos en seres humanos

WITTSIEPE J, ET AL. 2015	Ghana	Estudio transversal	Se incluyeron 21 trabajadores expuestos a Bifenilos policlorados, en el oficio de reciclaje de basura electrónica y 21 controles.	El estudio midió los niveles de 3 dioxinas que se forman en el proceso de reciclaje de basura electrónica como son: 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-dioxina (TCDD), 1,2,3,7,8,9-hexaCDD (hexa CDD) y dibenzofuranos policlorados PCDF)	Los individuos expuestos tenían una edad media: 24,7 años (SD 6.0) y 21 controles una edad media: 24.4 años (SD 5.7). Se les realizó examen médico, identificación biométrica y una encuesta con datos demográficos, historia laboral y exposiciones ocupacionales. La población control fue tomada de la población cercana al basurero electrónico.	Las concentraciones de TCDD, hexa CDD y PCDF fueron de 0.011, 0.019 y 0.008 µg/l en sangre en el grupo expuesto y de 0.037, 0.062 y 0.022 en el grupo control, encontrando en dos grupos altas concentraciones de estas dioxinas ya que sus sustancias químicas que se diseminan fácilmente en el ambiente
ZIV ARBELI, 2009	Colombia	Revisión literaria	No aplica	El documento revisa los procesos biológicos de degradación de bifenilos policlorados (PCB) y los efectos sobre matrices ambientales.	Evaluación de bifenilos policlorados en matrices ambientales	Los compuestos orgánicos persistentes son difíciles de degradar por lo que la biodegradación, que es un mecanismo de degradación para muchas sustancias químicas, es limitada en el caso de los COP ya que tienen una estructura química estable, de gran tamaño molecular y alto número de cloros. Se ha empleado la deshalogenación oxidativa y deshalogenación hidrolítica

<p>ATSDR. Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades</p>	<p>Estados Unidos</p>	<p>Revisión de la literatura</p>	<p>No aplica</p>	<p>Revisión sobre efectos en el ambiente por bifenilos policlorados</p>	<p>Evaluación de bifenilos policlorados en matrices ambientales (aire, agua, lodos y suelos)</p>	<p>En el ambiente no se degradan fácilmente pudiendo permanecer por largo tiempo y ser transportados largas distancias. En el agua, los PCBs son incorporados en pequeños organismos acuáticos y peces. También en animales que se alimentan de estos organismos. Los PCBs se acumulan especialmente en peces y en mamíferos marinos. Los niveles más altos se están en animales situados en las posiciones más altas de la cadena alimentaria, es decir, sufren biomagnificación.</p>
---	-----------------------	----------------------------------	------------------	---	--	--

## DISCUSIÓN

Los PCBs son un grupo de sustancias sintéticas que han sido encontradas alrededor del mundo, incluidas algunas zonas muy alejadas de aquellas en donde se emplearon tales contaminantes. Para atender esta problemática a nivel mundial, se firmó en el año 2001 el Convenio de Estocolmo. En el texto del convenio se describen las propiedades de los COP de la siguiente forma: “los contaminantes orgánicos persistentes tienen propiedades tóxicas, son persistentes a la

degradación, se bioacumulan y son transportados por el aire, el agua y las especies migratorias, a través de las fronteras internacionales y depositados lejos del lugar de su liberación, acumulándose en ecosistemas terrestres y acuáticos”<sup>32</sup>.

Es evidente que los PCB's son sustancias que desencadenan efectos sobre la salud y el ambiente, sin embargo, solo algunos estudios muestran con claridad esta relación entre los PCB's y patologías asociadas, tales como los efectos sobre la reproducción o su acción como disruptores endocrinos<sup>25</sup>.

Los PCBs pueden ingresar al organismo por inhalación, ingestión o a través de la piel. Una vez son absorbidos, pueden ser transformados en otras sustancias químicas relacionadas denominadas metabolitos, los cuales muchas veces pueden ser más tóxicos que el compuesto original. Estos compuestos se bioacumulan en tejido graso y en órganos como tiroides, cerebro, hígado y riñón, y se eliminan lentamente a través de las heces, orina y leche materna<sup>33, 34</sup>.

Dentro de los efectos sobre la salud han sido reportados alteraciones sobre el sistema inmunológico, reproductivo y endocrino y efectos dermatológicos. Los efectos endocrinos se han relacionado con la diabetes tipo II. Aunque no es posible desconocer su naturaleza plurifactorial, la diabetes parece estar asociada con el estilo de vida, el bajo nivel socioeconómico, la edad, la obesidad, la falta de actividad física, la carga glucémica en la dieta, el estrés, la condición sedentaria y una dieta poco saludable, entre otros.

Estudios en animales han mostrado que los PCBs generan cambios bioquímicos en las células  $\beta$  pancreáticas, así como disminución de la sensibilidad a la insulina y alteraciones en la homeostasis de la glucosa, el metabolismo de lípidos y en la función tiroidea<sup>31</sup>.

Han sido clasificados además como agentes probablemente carcinogénicos en seres humanos<sup>31</sup>.

A pesar de no existir muchas investigaciones que muestren de forma fehaciente la relación causal anteriormente descrita, existe una generalidad en los estudios, basada en la importancia<sup>30</sup> de tomar medidas de precaución, promoción y prevención que generen hábitos de salud adecuados para el cuidado de los trabajadores y la población general, como lo manifiesta Ribeiro E<sup>27</sup>.

En la actualidad más del 60% de los países a nivel mundial reconocen que la exposición a Bifenilos policlorados puede llegar a ser un problema de salud pública, entre esos Estados Unidos quienes han comenzado a generar normas que prohíben el uso de ciertos PCB's<sup>29</sup>. Es por esto que la NIOSH recomienda que los trabajadores no respiren aire que contiene más de 1 microgramo por metro cúbico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de PCBs con 42% o 54% de cloro durante una jornada de 10 horas diarias, 40 horas semanales. La EPA establece que los valores de PCBs en el agua potable deben ser menores a 0.5 partes por millón (ppm). Los límites que ha establecido la FDA incluyen 0.2 ppm en alimentos para niños, 0.3 ppm en huevos, 1.5 ppm en leche y en otros productos lácteos, 2 ppm en pescados y mariscos (porciones comestibles) y 3 ppm en aves y en carne<sup>31</sup>.

En respuesta a esta problemática, el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP) ha requerido a los países la adopción de medidas para eliminar la producción y uso de PCBs. Como aún son necesarios los equipos que contienen PCBs, sobre todo ciertos transformadores y condensadores eléctricos, se ha establecido una excepción que permite seguir utilizando estos equipos hasta el año 2025, dentro del marco de política establecido en el Convenio. Para esto, los países deberán comenzar a hacer esfuerzos decididos para identificar, etiquetar y retirar de uso los equipos con PCBs y promover medidas para la reducción de la exposición y el riesgo para la salud humana y el ambiente.

Colombia ha realizado algunas actividades relacionadas con los COP, entre las cuales se encuentra la prohibición de producción y uso de PCBs y el análisis socio-

económico sobre la implementación del Convenio de Estocolmo en Colombia (MAVDT, 2007f). A partir de estos inventarios, actualmente se está desarrollando el Plan Nacional de Aplicación del Convenio de Estocolmo en el país.

Es importante recordar que todos estos materiales tendrán que manejarse estrictamente según la normativa sobre movimientos transfronterizos de desechos peligrosos especificado en el Convenio de Basilea, así como a las restricciones de importación/ exportación estipuladas en los Convenios de Estocolmo y de Rotterdam.

Respecto al tratamiento de los PCBs confines de destrucción puede ser de naturaleza física, térmica, química, físico-química o biológica.

Se estima que alrededor de 1,7 millones de toneladas de PCB se produjeron desde los años 30 a los 70 en el mundo y muchos de los equipos que contienen PCB están todavía en uso en algún lugar o almacenados a la espera de disposición final. Como los PCBs una vez liberados al medio ambiente no se descomponen pero sí pueden viajar largas distancias, continúan planteando riesgos para la salud a los seres humanos, por lo cual es importante eliminar su uso y destruir los arsenales existentes.

## **CONCLUSIONES**

La exposición a los bifenilos policlorados en los diferentes estudios demuestran una relación directa con el ambiente de trabajo y denota la necesidad de hacer evaluaciones exhaustivas y adecuadas para controlar, minimizar o eliminar la exposición ocupacional a estos elementos, bajo una dinámica de identificación de riesgos.

Son innegables los efectos sobre la salud que desencadena tanto en la población ocupacional como en la general, produciendo efectos dermatológicos, alteraciones sobre el sistema inmunológico, reproductivo y endocrino.

En el ambiente no se degradan fácilmente pudiendo permanecer por largo tiempo y ser transportados largas distancias sufriendo procesos de biomagnificación. Los principales procesos de contaminación por PCBs ocurren cuando se producen derrames en cualquiera de las matrices ambientales, principalmente suelos, sedimentos, cuerpos de agua y el aire, pudiendo incluso migrar entre ellas. Al ser compuestos persistentes, pueden recorrer grandes distancias, contaminando incluso acuíferos y pozos de agua subterránea en una escala regional o global.

## **RECOMENDACIONES**

- Para la población ocupacionalmente expuesta se recomienda no sobrepasar el TLV de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en los lugares de trabajo. Este TLV se considera lo suficientemente bajo como para prevenir en gran medida los efectos adversos que puedan presentarse.
- Los procesos de producción y manipulación de PCBs se deben llevar a cabo en circuitos cerrados contando con eficaces sistemas de ventilación.
- Los trabajadores deben ser incluidos en programas de vigilancia epidemiológica con el fin de realizar un seguimiento periódico de sus condiciones de salud y usar los elementos de protección individual apropiados.
- Los vertimientos de las empresas se deben cuantificar y minimizar los impactos negativos al ambiente.
- Se debe manejar las matrices ambientales de forma precisa y objetiva teniendo claro las normas legales vigentes en los países productores.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

---

1. Naula K, Peralta A. Citar un sitio web - Cite This For Me [Internet]. Dspace.espol.edu.ec. 2017 [cited 23 October 2015]. Available from: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/38216/D-CD102082.pdf?sequence=-1>.
2. Frías Sánchez M. Descomposición del Bifenilo Policlorado (PCB) Aroclor 1260 en aceites dieléctricos, por radiólisis del agua, inducida por radiación gamma del isótopo de cobalto 60 [Internet]. Dspace.uce.edu.ec. 2017 [cited 23 October 2017]. Available from: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/6284>.
3. Morales-Abril M, Reyes-Pincay B, Carabajo-Ayala S, Alarcón-Valencia M. Determinación de PCBs en transformadores de distribución en Machala [Internet]. Dominiodelasciencias.com. 2017 [cited 23 October 2017]. Available from: <https://www.dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/486>.
4. Bohórquez M, Ubaque C, Ubaque J. Cuantificación de existencias de compuestos bifenilos policlorados (PCB) en Colombia [Internet]. Revistas.udistrital.edu.co. 2017 [cited 23 October 2017]. Available from: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/article/view/8156/9809>.
5. "Colombia debe estar libre de la sustancia tóxica PCB en el 2028": viceministro de Ambiente | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [Internet]. Minambiente.gov.co. 2017 [cited 23 October 2017]. Available from: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/122-noticias-minambiente/2687-colombia-debe-estar-libre-de-sustancias-toxicas-en-el-2028-viceministro-de-ambiente>.
6. Patrigniani de la Fuente N. Alteraciones en el ovario de pez cebra (Danio rerio) tratados con dioxinas [Internet]. Helvia.uco.es. 2017 [cited 23 October 2017]. Available from: <http://helvia.uco.es/handle/10396/12321>.
7. Manahan S. Introducción a la química ambiental/ Introduction to Environmental Chemistry: Reverte Editorial Sa; 2007. 725 p.  
  
BAIRD C. Química Ambiental: Reverte; 2014. 850 p.
8. Marzocchi N. BIFENILOS POLICLORADOS: RELACIÓN ENTRE ESTRUCTURA QUÍMICA, PARÁMETROS CONFORMACIONALES Y TOXICIDAD EFECTO-DIOXINA [Internet]. Redalyc.org. 2017 [cited 23 October 2017]. Available from: <http://www.redalyc.org/html/3236/323627684012/>.

- 
9. Valle E, Cruz M. Boletín IIE, septiembre/octubre 1997 [Internet]. Ineel.mx. 2017 [cited February 2017]. Available from: <https://www.ineel.mx/publica/bolso97/tec2so97.htm>
  10. Baird C. Environmental Chemistry: WH Freeman; 2001. 736 p.
  11. Prada CD. La Epidemia Química: Ediciones I; 2012. 352 p
  12. Romero Torres T, Cortinas de Nava C, Gutiérrez Avedoy VJ, México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología (Mexico). Diagnóstico nacional de los contaminantes orgánicos persistentes en México. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales : Instituto Nacional de Ecología; 2009. 344 p.
  13. Cabildo Miranda M. Bases químicas del medio ambiente. [Place of publication not identified]: Uned - Universidad Nacion; 2013. FALTA COMPLETAR EL VOLUMEN Y LAS PAGINAS DEL LIBRO
  14. Maure Rubio B. Repercusiones ambientales de los bifenilos policlorados (PCBs o BPC) [Internet]. Bases.bireme.br. 2017 [cited 23 October 2017]. Available from: <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDI SCA&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=137988&indexSearch=ID>
  15. Polychlorinated Biphenyls (PCBs) Materials | US EPA [Internet]. US EPA. 2017 [cited 23 October 2017]. Available from: <https://www.epa.gov/pcbs/polychlorinated-biphenyls-pcbs-materials>
  16. Thomas C. INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER [Internet]. <http://www.iarc.fr/>. 2017 [cited 23 October 2017]. Available from: <http://www.iarc.fr/>
  17. Ndaw S, Remy A, Jargot D, Robert A. Citar un sitio web - Cite This For Me [Internet]. Link.springer.com. 2017 [cited 26 November 2017]. Available from: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs00420-016-1132-8.pdf>.
  18. Kovanecz I, Gelfand R, Masouminia M, Gharib S, Segura D, Vernet D, et al. Oral Bisphenol A (BPA) given to rats at moderate doses is associated with erectile dysfunction, cavernosal lipofibrosis and alterations of global gene transcription. International Journal of Impotence Research. marzo de 2014;26(2):67-75.
  19. 1. FARACI P, MIRAGLIOTTA A, SPRINI G. The structural and construct validity of the Coping Strategies Questionnaire for Teachers (CSQ-T). BPA -

---

Applied Psychology Bulletin (Bollettino di Psicologia Applicata). abril de 2010;(260):35-42.

20. 1. B'Hymer C, Cheever KL. Development of a gas chromatographic test for the quantification of the biomarker 3-bromopropionic acid in human urine. *Journal of Chromatography B*. abril de 2004;802(2):361-6.
21. Wittsiepe J, Fobil JN, Till H, Burchard G-D, Wilhelm M, Feldt T. Levels of polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans (PCDD/Fs) and biphenyls (PCBs) in blood of informal e-waste recycling workers from Agbogbloshie, Ghana, and controls. *Environment International*. junio de 2015;79:65-73
22. Li D, Zhou Z, Qing D, He Y, Wu T, Miao M, et al. Occupational exposure to bisphenol-A (BPA) and the risk of Self-Reported Male Sexual Dysfunction. *Human Reproduction*. 1 de febrero de 2010;25(2):519-27
23. Toyama Y, Yuasa S. Effects of neonatal administration of 17beta-estradiol, beta-estradiol 3-benzoate, or bisphenol A on mouse and rat spermatogenesis. *Reprod Toxicol* [Internet]. 2004;19(2):181–8. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15501383>
24. Miao M, Yuan W, Yang F, Liang H, Zhou Z, Li R, et al. Associations between Bisphenol A Exposure and Reproductive Hormones among Female Workers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 22 de octubre de 2015;12(10):13240-50..
25. Miao M, Yuan W, He Y, Zhou Z, Wang J, Gao E, et al. In utero exposure to bisphenol-A and anogenital distance of male offspring. *Birth Defects Research Part A: Clinical and Molecular Teratology*. octubre de 2011;91(10):867-72.
26. Ribeiro E, Ladeira C, Viegas S. Occupational Exposure to Bisphenol A (BPA): A Reality That Still Needs to Be Unveiled. *Toxics*. 13 de septiembre de 2017;5(4):22.
27. Chalupka S. [Internet]. 2017 [cited 27 November 2017]. Available from: <http://Bisphenol A—A Precautionary Approach>
28. 1. Li D, Zhou Z, Qing D, He Y, Wu T, Miao M, et al. Occupational exposure to bisphenol-A (BPA) and the risk of Self-Reported Male Sexual Dysfunction. *Human Reproduction*. 1 de febrero de 2010;25(2):519-27.
29. Layton L. High BPA levels linked to male sexual problems 2009 [updated 2009-11-11. 1]. Available from: <http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2009/11/10/AR2009111017411.html>.
30. 1. Juan-García A, Gallego C, Font G. Toxicidad del Bisfenol A: Revisión. *Revista de Toxicología*. 2015;32(2).

- 
31. ATSDR. Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades. Resúmenes de Salud Pública - Bifenilos policlorados (BPCs) [Polychlorinated Biphenyls (PCBs)]. Disponible en: [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs17.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs17.html)
  32. ZIV ARBELI. 2 BIODEGRADACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS PERSISTENTES (COP): I. EL CASO DE LOS BIFENILOS POLICLORADOS (PCB) Acta biol. Colomb., Vol. 14 No. 1, 2009 55 – 86
  33. Biomonitoring California. Hoja de información técnica sobre los bifenilos policlorados (PCBs). Disponible en: [http://biomonitoring.ca.gov/sites/default/files/downloads/Hoja\\_info\\_tecnica\\_PCBs\\_0.pdf](http://biomonitoring.ca.gov/sites/default/files/downloads/Hoja_info_tecnica_PCBs_0.pdf)
  34. García Ubaque, C. A., García Ubaque, J. C., Vaca Bohórquez, M. L. (2014). Cuantificación de existencias de compuestos bifenilos policlorados (PCB) en Colombia. Revista Tecnura, 2014 Dec 1;18:39-44