

**ESTADO DEL ARTE DE LOS CONTAMINANTES ORGÁNICOS  
PERSISTENTES (COP) EN COLOMBIA ENTRE LOS AÑOS 2007-2017**

**JAIME ALONSO GARCÍA HERNÁNDEZ**

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS  
FACULTAD DE CIENCIAS Y EDUCACIÓN  
PROYECTO CURRICULAR DE LICENCIATURA EN QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C.**

**2018**

**ESTADO DEL ARTE DE LOS CONTAMINANTES ORGÁNICOS  
PERSISTENTES (COP) EN COLOMBIA ENTRE LOS AÑOS 2007-2017**

**JAIME ALONSO GARCÍA HERNÁNDEZ**

**Monografía para optar por el título de Licenciado en Química**

**Directora:  
MARISOL RAMOS RINCÓN  
MSc. en Ciencias Químicas  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas**

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS  
FACULTAD DE CIENCIAS Y EDUCACIÓN  
PROYECTO CURRICULAR DE LICENCIATURA EN QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C.**

**2018**

Nota de aceptación

---

---

---

---

Jurado

---

Directora

Bogotá D.C.; julio de 2018

Cuando el público protesta, enfrentado con alguna prueba evidente de los resultados perjudiciales de las aplicaciones de plaguicidas, se le suministran píldoras tranquilizantes de medias verdades. Necesitamos urgentemente que se ponga fin a las falsas seguridades, al caramelo que envuelve hechos desagradables. Es el público al que se le pide que asuma los riesgos calculan los que se dedican a controlar insectos. El público debe decidir si desea continuar por el actual camino, y sólo puede decidirlo cuando esté en plena posesión de los dato. En palabras de Jean Rostand: “La obligación de resistir nos da el derecho a conocer”.

Rachel Carson. Primavera silenciosa (1962).

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, a Dios por otorgarme el don de la vida y permitirme llegar hasta donde lo he hecho a nivel académico y personal. En segundo lugar, a mis padres y hermanas por el compromiso y el esfuerzo que me han dedicado durante toda mi vida, por ser el eje fundamental que permitió mi desarrollo académico y la formación de mi carácter.

Por otra parte, a los docentes y administrativos del proyecto curricular de Licenciatura en química de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, en especial a la profesora Marisol Ramos Rincón por permitirme desarrollar este trabajo bajo su dirección y por ser una de las docentes encargadas de mi formación en las ciencias ambientales. Sumando a esto agradezco también a mis compañeros de las líneas de investigación del proyecto curricular en carbones, GREECE, productos naturales, colorantes naturales y el semillero de desarrollo ambiental.

También extendiendo el agradecimiento a mis profesores y compañeros de la Facultad de ciencias de la Universidad Católica de la Santísima Concepción (Chile), ya que con ellos y en esta institución profundice mis conocimientos en química aplicados al medio ambiente.

## CONTENIDO

1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
2	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
3	OBJETIVOS .....	4
3.1	OBJETIVO GENERAL.....	4
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
4	JUSTIFICACIÓN.....	5
5	METODOLOGÍA.....	6
5.1	Matriz de comparación cualitativa .....	6
5.2	Revisión sistemática de la literatura.....	6
6	MARCO TEÓRICO .....	9
6.1	Contaminantes orgánicos persistentes .....	9
6.2	Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes.....	12
6.3	Los primeros 12 COP “La docena sucia”. .....	17
6.4	Los nuevos COP.....	32
7	DESARROLLO .....	39
7.1	Comparación de los Planes nacionales de implementación del convenio de Estocolmo (NIP/PNI) de Colombia. Versiones 2010 y 2017. ....	39
7.2	Revisión de la literatura .....	84
7.2.1	Cuantificación Humanos.....	85
7.2.2	Cuantificación en ambiente.....	87
7.2.3	Degradación/Eliminación. ....	91
7.2.4	Revisión.....	96
8	CONCLUSIONES .....	101
9	RECOMENDACIONES.....	102
10	BIBLIOGRAFÍA.....	103

## FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Diagrama de clasificación de la información relacionada con los COP que se desarrolla en la revisión de la literatura.....	8
<b>Figura 2.</b> Flujo de información a través de las diferentes fases de una revisión sistemática.....	8
<b>Figura 3.</b> Representación esquemática del efecto de destilación global a través del mecanismo del efecto saltamontes en áreas templadas. Pv, presión de vapor del líquido subenfriado, Tm, temperatura media del aire en cada región (Fernández & Grimalt, 2003). .....	10
<b>Figura 4.</b> Procesos ambientales principales durante el transporte de largo alcance de los COP (Fernández & Grimalt, 2003). .....	11
<b>Figura 5.</b> Estructura molecular del Aldrín (Centro Nacional de Referencia sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes, 2004). .....	17
<b>Figura 6.</b> Estructura molecular del Dieldrín (Centro Nacional de referencia sobre contaminantes orgánicos persistentes, 2004). .....	18
<b>Figura 7.</b> Estructura molecular del Endrín (CNR COP-Centro Nacional de Referencia sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes, 2004a). .....	19
<b>Figura 8.</b> Estructura molecular del clordano (ResiduosCOP, 2018a).....	20
<b>Figura 9.</b> Estructura molecular del Mirex (CNR COP-Centro Nacional de Referencia sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes, 2004b). .....	21
<b>Figura 10.</b> Estructura molecular del Hexaclorobenceno (ResiduosCOP, 2018d).....	22
<b>Figura 11.</b> Estructura molecular del Heptacloro (ResiduosCOP, 2018c). .....	23
<b>Figura 12.</b> Estructura molecular del Toxafeno (ResiduosCOP, 2018e).....	24
<b>Figura 13.</b> Estructura molecular del DDT (ResiduosCOP, 2018b). .....	25
<b>Figura 14.</b> Estructura molecular general para los PCB (Rocha, Peralta, & Zavala, 2015). .....	27
<b>Figura 15.</b> Estructuras moleculares generales para dibenzodioxinas y dibenzofuranos con sus respectivas posiciones (Comisión para la Cooperación Ambiental, 2016). ....	31
<b>Figura 16.</b> Principales actores involucrados en la gestión integral de COP en Colombia (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017). .....	84

## TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Diferencias entre revisión sistemática y revisión narrativa (Beltrán, 2005).....	7
<b>Tabla 2.</b> Estructura del documento del Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes (Elaboración propia).....	14
<b>Tabla 3.</b> Sustancias COP consignadas en los anexos A, B y C del Convenio de Estocolmo, versión 2010 (Elaboración propia).....	16
<b>Tabla 4.</b> Sustancias COP incluidas a partir de la cuarta reunión del comité de examen de los contaminantes orgánicos persistentes (Stockholm Convention Secretariat, 2017).....	34
<b>Tabla 5.</b> Sistematización de documentos seleccionados para la revisión bibliográfica.....	85
<b>Tabla 6.</b> Resumen de los métodos de eliminación química de PCB analizados en el estudio (Rodríguez & Ruiz, 2015).....	93
<b>Tabla 7.</b> Efectos adversos de las dioxinas en el cuerpo(Cruz, Moreno, & Lara, 2010).....	98
<b>Tabla 8.</b> Criterios para identificación de COP(Pacheco, 2008).....	99



## INTRODUCCIÓN

Los contaminantes orgánicos persistentes (COP) son compuestos orgánicos que en su momento fueron la respuesta a varias necesidades de la población mundial. Desde mediados del siglo XX el uso de plaguicidas como el DDT permitieron desarrollar la explotación agrícola y así generar una solución a la crisis alimentaria de la época, sin embargo, no se tuvo en cuenta las consecuencias que podría generar en la salud de las personas y el medio ambiente. En 1962 la bióloga y ecologista Rachel Carson publica su libro “Primavera silenciosa” donde señala que el uso del DDT está generando un desequilibrio ecológico, pues no sólo ha atacado a los insectos que se consideran plagas sino también a las aves, otros animales e incluso a los seres humanos (Carson, 2013); esta denuncia logró centrar la atención en este tipo de sustancias, permitiendo la creación de instituciones como la EPA (Environmental Protection Agency) en 1970 y luego de muchos años de controversia entre los investigadores que encontraron resultados de los efectos de los plaguicidas organoclorados en la salud y los científicos detractores, la prohibición del DDT el 14 de junio de 1972.

La característica más importante de los COP es su persistencia en el ambiente, que junto con su facilidad de ser transportados por el agua o el aire han generado grandes inconvenientes en lugares muy alejados de los sitios de aplicación como lo son el ártico y el antártico. Estas características y otras que serán mencionadas más adelante, han permitido clasificar un grupo de sustancias que afectan de diferentes formas la salud humana y al medio ambiente.

A raíz de toda la problemática vivida en la segunda mitad del siglo XX frente a los COP, en el año 2001 se adopta el Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes, que entró en vigor en mayo de 2004 cuyo objetivo central es proteger la salud humana y el medio ambiente frente a los COP. En este documento se encuentran las medidas que se deben adoptar para reducir o eliminar las liberaciones derivadas de la producción y de la producción no intencional de estas sustancias, también la eliminación de desechos y existencias y los planes de aplicación que debe elaborar e implementar cada parte, entre otros aspectos relevantes para cumplir el objetivo del convenio. Actualmente cuenta con 182 partes o estados signatarios, sometidos a las obligaciones establecidas por este convenio, relacionadas con aplicar medidas de control para cada producto químico, realizar inventarios de los productos químicos existentes, elaborar, revisar y actualizar el plan de implementación nacional (PNI o NIP) frente al convenio (Secretaría del Convenio de Estocolmo, 2010). Dentro de los anexos del documento del convenio se encuentran consignadas todas las sustancias catalogadas como COP agrupadas de acuerdo a las acciones que se deben tomar frente a estas o a su fuente de producción (eliminación, restricción, producción no intencional). Desde el 2004 se han venido vinculando otras sustancias que cumplen con los requisitos para ser denominadas COP, pasando de los 12 compuestos iniciales llamados “la docena sucia” a 29 compuestos hasta el año 2016 (Stockholm Convention Secretariat, 2017).

Colombia ha adelantado acciones de prevención y eliminación del uso de los COP desde los años 90 del siglo XX, en este tiempo ha promulgado leyes y decretos que reglamentan la utilización y disposición final de estos productos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017). En el año 2008 con la ley 1196 Colombia ratificó el convenio de Estocolmo, empezando la investigación de la principales fuentes de emisión, los sitios contaminados y las medidas que se iban a llevar a cabo para eliminar, prevenir y mitigar los impactos de estas sustancias, publicándose en el 2010 el Plan Nacional de Implementación del Convenio de Estocolmo, del cual se resalta la línea base del país frente a los COP y los cuatro planes de acción respecto a plaguicidas, bifenilos policlorados (PCB), dioxinas y furanos y el plan de acciones transversales (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

Todas estas estrategias y elementos del plan de implementación han sido llevadas a cabo por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Debido a que las acciones de largo plazo se cumplen para el año 2018, en el 2017 se realiza un balance de cómo va este trabajo y se publica la nueva versión del Plan Nacional de Implementación del Convenio de Estocolmo, en el cual se venía trabajando desde el 2015.

Se han realizado varios estudios en las diferentes universidades del país relacionados con la cuantificación de concentraciones de COP en la atmósfera y productos alimenticios, junto a ensayos para encontrar sistemas de degradación biológica para este tipo de sustancias. También se han estudiado los mecanismos de transporte por vía atmosférica y las concentraciones de estas sustancias en diferentes sectores del país en asociación al estudio del material particulado en el aire.

Conocer el estado actual que tienen estas sustancias y su gestión en el país cobra importancia dado que las problemáticas que son consecuencia de su exposición tanto en los seres humanos como en los ecosistemas implican atención específica de varias entidades del estado además de inversión de grandes recursos económicos. Por esta razón trabajar en la disminución de la producción y uso de estas sustancias, junto con estrategias de tratamiento para menguar su peligrosidad contribuye significativamente a encaminar el país hacia un desarrollo sostenible y permite garantizar un ambiente sano como está estipulado en el artículo 79 de la Constitución política de Colombia.

## **1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Los COP han venido afectando la salud humana y al medio ambiente desde la segunda mitad del siglo XX. Su uso principal ha beneficiado en gran parte a la industria agrícola y eléctrica, entre otras, pero esto representa un riesgo para el equilibrio ecológico pues la naturaleza se debe enfrentar a productos de origen antropogénico, creados para controlar insectos como, termitas, hormigas, saltamontes, larvas de moscas y escarabajos, entre otros, que han atacado cultivos de papa, maíz, algodón, trigo, cítricos y otras especies de plantas; o de uso limitado a algunas industrias como el caso de los PCB que se utilizan con aislantes en aceites dieléctricos de los transformadores de corriente (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005), sin atender a que su poder mortífero va más allá del uso al que se

tiene destinado, debido principalmente a sus características fisicoquímicas (persistencia, movilidad, liposolubilidad, bioacumulación, biomagnificación).

El convenio de Estocolmo clasifica estas sustancias en tres grupos dependiendo de las medidas que deben tomar cada una de las partes respecto a estas sustancias en relación con su eliminación, la restricción de su producción y la disminución de su producción no intencional (PNUMA, 2011). Colombia hace parte de este convenio y como tal ha adoptado medidas para restringir el uso de plaguicidas organoclorados POC, ha controlado el uso de bifenilos policlorados PCB en equipos eléctricos y gestionado su eliminación a través de exportación a países desarrollados que tienen la infraestructura y equipos para su tratamiento, pero no ha gestionado la eliminación de los contaminantes o el tratamiento adecuado de las zonas que actualmente presentan concentraciones elevadas.

Los contaminantes orgánicos persistentes son compuestos orgánicos que resisten la degradación ambiental mediante procesos químicos, biológicos y fotolíticos. Los COP persisten en el ambiente durante largos periodos de tiempo, se distinguen también por su semivolatilidad (Álvarez et al., 2016); esta propiedad les permite presentarse en la fase de vapor o adsorbidos sobre partículas atmosféricas, facilitando de esta manera su transporte a grandes distancias por medio del aire o el agua, son liposolubles y bioacumulables en el tejido humano y animal, pueden biomagnificarse en las redes alimentarias y tienen efectos potencialmente significativos en la salud humana y el medio ambiente.

Debido a sus propiedades de persistencia y semivolatilidad se han encontrado concentraciones significativas en sedimentos, hielo y tejidos de animales del ártico y el antártico (Iwata, Tanabe, Sakai, Nishimura, & Tatsukawa, 1994), sitios en los que nunca se han realizado aplicaciones de plaguicidas, ni se han liberado residuos que contengan estos contaminantes. Se ha detectado la presencia de COP en el aire de diferentes lugares del mundo.

El ser humano se ha visto expuesto a los COP a través de los alimentos, el agua y el aire. La bioacumulación de estos compuestos desde las plantas hasta los mamíferos de donde se sacan los cortes de carne para consumo humano son muestra de la biomagnificación de los mismos, pues al pasar por cada nivel de la cadena trófica, la concentración de estos compuestos aumenta e incluso se puede transmitir a las generaciones venideras a través de la lactancia.

Actualmente se busca la forma de eliminar los residuos de varios productos que contienen COP y que fueron prohibidos en su momento, también la forma de remediar suelos de zonas donde se usaron plaguicidas con estas sustancias y la depuración de fuentes de agua que alojan en sus cuerpos y sedimentos concentraciones elevadas de COP.

En Colombia, país signatario del convenio de Estocolmo, se ha venido trabajando por la protección de la salud y del medio ambiente frente a estos contaminantes; desde la década de los 80 se han desarrollado legislaciones para prohibir el uso y producción de estos contaminantes y desde la creación del Ministerio de ambiente en 1993 se ha

velado por brindar a los colombianos un ambiente sano, es en este sentido que al ratificar la convención de 2001, este país se comprometió y ha tenido que realizar varias tareas en cuanto a la legislación, estudios de las áreas contaminadas y la gestión de los residuos que hasta la actualidad existen y se van generando.

## **2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Partiendo de lo anterior es importante realizar una revisión bibliográfica para conocer ¿Cuál es el estado actual en materia de gestión e investigación en Colombia respecto a los COP?

## **3 OBJETIVOS**

### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Describir el estado del arte sobre los contaminantes orgánicos persistentes en Colombia a nivel investigativo y de gestión.

### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Comparar los Planes Nacionales de implementación del convenio de Estocolmo sobre los COP en Colombia elaborados por el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible en los años 2010 y 2017.
- Identificar el estado de investigación de los contaminantes orgánicos persistentes en Colombia entre los años 2007 y 2017, mediante la revisión de artículos científicos y documentos de trabajos de grado.

## 4 JUSTIFICACIÓN

Actualmente el estudio de los contaminantes orgánicos persistentes (COP) ha sido de suma importancia desde que entró en vigor el convenio de Estocolmo en 2004. En Colombia el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) ha sido la entidad encargada de investigar, promover y regular las medidas establecidas por el convenio, orientadas a proteger la salud humana y el medio ambiente frente a los contaminantes orgánicos persistentes.

Los contaminantes orgánicos persistentes son una serie de compuestos que en su momento brindaron grandes beneficios en las actividades en las que eran utilizados por su efectividad, pero con el tiempo se evidenció que su persistencia era uno de los inconvenientes más grandes, pues se trata de compuestos tóxicos que tardan mucho tiempo en degradarse a compuestos menos peligrosos; también son compuestos lábiles que tienen fácil transporte por las diferentes matrices ambientales (agua, suelo, aire) lo que genera que estén presentes en lugares muy lejanos a sus fuentes de producción o utilización, adicionalmente generan graves problemas de biomagnificación producto de su propiedad de ser bioacumulables en tejidos adiposos (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005). Periódicamente las instituciones con pertinencia ambiental están realizando inventarios cada vez más completos de las sustancias que se pueden catalogar como contaminantes orgánicos persistentes y los diferentes efectos que causan a la salud, estos documentos tienen alta relevancia pues brindan la información necesaria para reducir las emisiones y con estas el riesgo de exposición al que se están sometiendo diferentes ecosistemas.

Para el caso de Colombia es necesario consultar qué información existe tanto en investigación como en legislación para potenciar nuevas investigaciones tanto en lo concerniente a muestreo y análisis de emisiones en las principales fuentes industriales y agrícolas del país, como también a la gestión y manejo de sitios contaminados y el desarrollo de metodologías de degradación de estos compuestos químicos por vías microbiológicas, químicas o físicas. Junto a esto también se debe hacer el contraste de los documentos actuales de implementación del convenio de Estocolmo frente a los pasados, ya que es importante evidenciar la evolución o avance que se ha desarrollado en materia de protección al medio ambiente.

## **5 METODOLOGÍA**

### **5.1 Matriz de comparación cualitativa**

Para la comparación de los documentos de los planes nacionales de implementación del año 2010 y 2017 se elaboró una matriz de análisis cualitativo, la cual está constituida por cuatro categorías esenciales para entender el desarrollo de la gestión de los COP hecha por Colombia en los dos momentos, estas categorías son:

1. Contexto Nacional.
2. Marco institucional, regulatorio y de políticas.
3. Situación del país frente a los COP.
4. Estrategias y acciones previstas.

Estas categorías se escogieron de la estructura de ambos documentos donde se encontró relación entre la información contenida y los aspectos que se trabajaron. También se eligen por su relevancia, pues ubican a quien investiga en los aspectos fundamentales de los planes de implementación.

Las categorías están acompañadas por dos columnas que corresponden a cada documento, donde se encuentra consignada la información más relevante para cada criterio en específico, en las columnas se encuentran divisiones de las categorías en criterios más específicos para facilitar la sistematización de la información en la matriz. Por último, cuenta con una columna de análisis donde se encuentran los aspectos relevantes de la comparación de cada categoría y las reflexiones que se desprenden de esta información, esta columna permite evidenciar que fenómenos de similitud o diferencia se encuentran entre los dos documentos y lo más importante, qué cambios han ocurrido en el periodo de tiempo que separa a ambos documentos en cuanto a la gestión de los COP.

### **5.2 Revisión sistemática de la literatura.**

Debido al vasto volumen de información que se encuentra actualmente sobre el tema es necesario encontrar una metodología que permita estructurar la revisión de la literatura con el fin de obtener información más precisa y menos sesgada. Para esto se adaptó la metodología de revisión sistemática, de uso común en medicina, de la cual principalmente se utilizaron los postulados de la declaración PRISMA (Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses) que es una metodología en la que se tienen 27 ítems que buscan mejorar la calidad de la presentación las revisiones sistemáticas (Hutton, Catalá-López, & Moher, 2016). La declaración PRISMA es una guía que permite estructurar las publicaciones y está diseñada para mejorar la integridad de los informes de revisión sistemática; se ha utilizado en todo el mundo para planificar, preparar y publicar las revisiones, indicando una mejora en la calidad de estas publicaciones (Hutton et al., 2016).

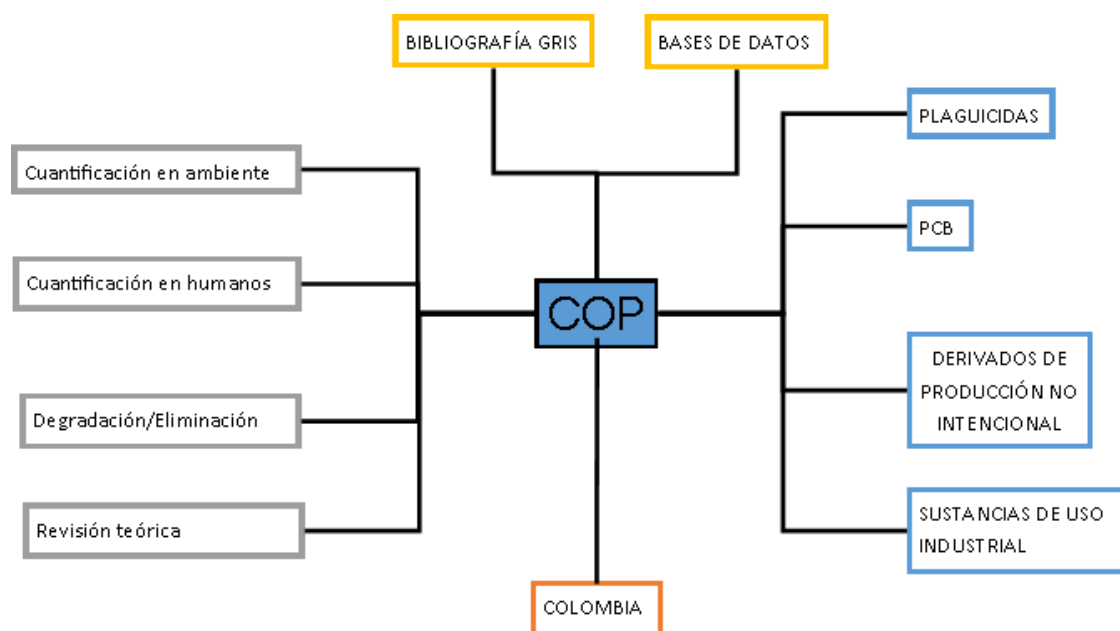
Beltrán (2005) menciona que existen dos tipos de revisión de publicaciones: la revisión cualitativa o narrativa y la revisión sistemática; la primera tiene una serie de debilidades por causa de que la base fundamental de esta revisión es la subjetividad del revisor, en otro sentido, no es posible para una revisión narrativa la cuantificación de sus resultados. La revisión sistemática exige un método más riguroso y

estructurado para la identificación, evaluación y extracción de la información. Este autor también plantea una tabla en la que diferencia ambos tipos de revisión.

CARACTERÍSTICAS	NARRATIVA	SISTEMÁTICA
Focalizada	Tema	Pregunta
Estrategia de búsqueda	No especificado	Claramente especificado
Criterios de selección	No especificado	Especificado y aplicado
Análisis de la información	Variable	Rigurosos y crítico
Síntesis	Cualitativa	Cualitativa o cuantitativa (Metanálisis)

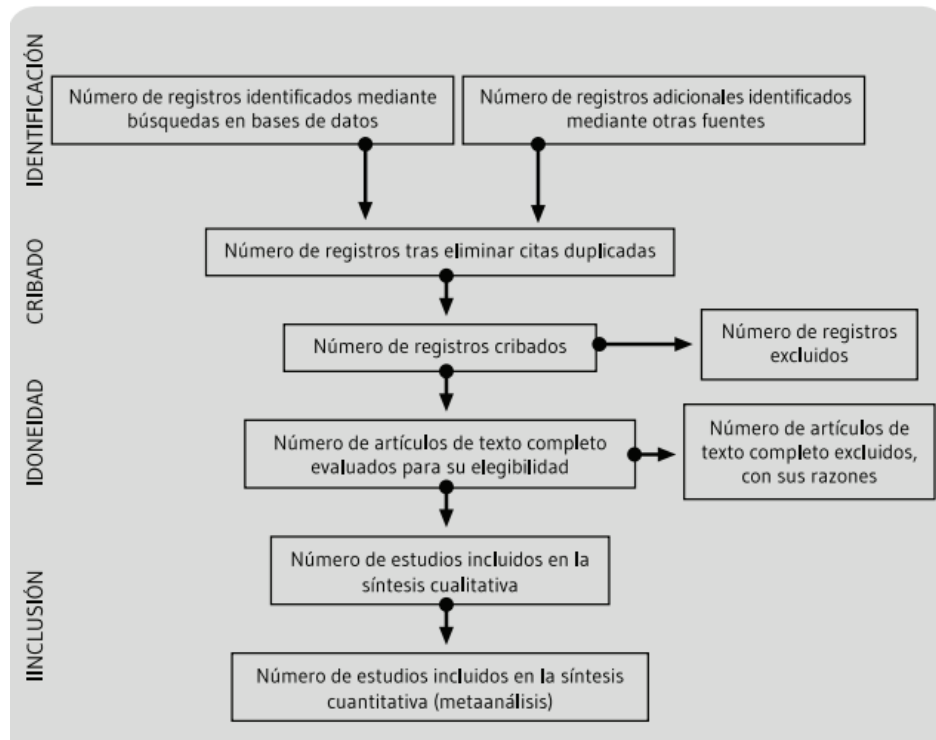
Tabla 1. Diferencias entre revisión sistemática y revisión narrativa (Beltrán, 2005).

Para este trabajo se adaptó la metodología de la revisión sistemática para seleccionar y organizar los artículos que se van a analizar. Se establecieron los tópicos más importantes que se van a revisar en torno a la temática de los COP a nivel nacional, separando este gran número de sustancias en los cuatro grupos que propone el plan nacional de implementación del 2017, también se establecen las fuentes que se utilizaron para la investigación como literatura gris, que corresponde a trabajos de grado, y las bases de datos que proporcionaron los artículos más relevantes frente al tema. De los artículos recopilados se hizo una separación en cuatro categorías que generalizan las vertientes que toman respecto a la investigación de los COP. El diagrama presentado en la figura 1 muestra de forma clara los diferentes tópicos que se tuvieron en cuenta para sistematizar la revisión y hacerla más estructurada a la hora de redactar el informe y redactar conclusiones.



**Figura 1.** Diagrama de clasificación de la información relacionada con los COP que se desarrolla en la revisión de la literatura.

Junto con este diagrama se utilizó también el diagrama de flujo de la declaración PRISMA para limitar los documentos a analizar a los tópicos expresados en el diagrama de clasificación de la información. Para el caso de esta investigación se llevó a cabo este flujo hasta la síntesis cualitativa pues al no tener un criterio específico a investigar sobre los COP es necesario elaborar un análisis más general para que sea la hoja de ruta de investigaciones futuras.



**Figura 2.** Flujo de información a través de las diferentes fases de una revisión sistemática.

Se consultaron las bases de datos: CABI environmental impact, Science Direct, Scopus y Science Magazine utilizando como palabras clave para la búsqueda: COP, contaminantes orgánicos persistentes, convenio de Estocolmo, POP, persistent organic pollutants, Dioxinas y furanos, plaguicidas organoclorados, PCDD y PCDF, Colombia; también se consultaron los repositorios institucionales de varias universidades del país. Como criterios de selección se tuvieron en cuenta el título, la fecha de la investigación, los autores, el resumen y que en su cuerpo el documento presentara información relevante sobre los COP.



## 6 MARCO TEÓRICO

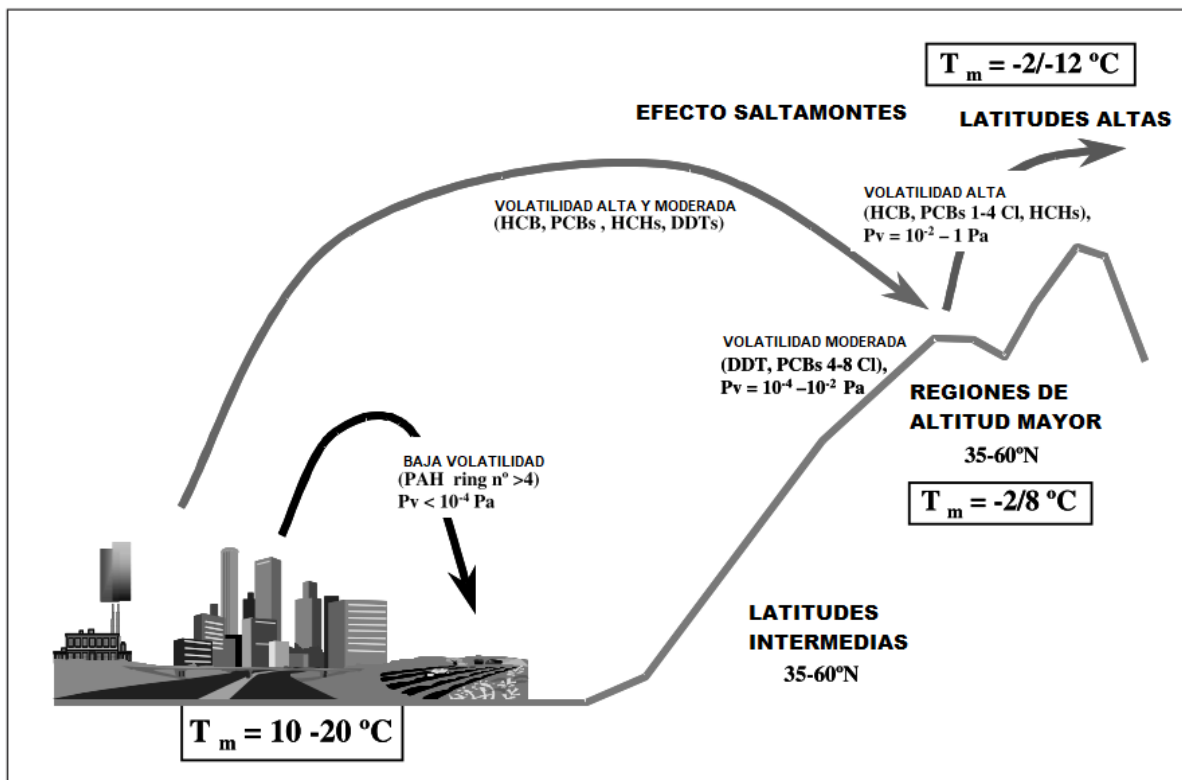
Los contaminantes orgánicos persistentes tienen un lugar enmarcado en la historia desde mediados del siglo XX, al principio como la solución a varios problemas que presentaba la sociedad, lo que los llevó a un uso masivo y exorbitante que produjo como consecuencia un deterioro ambiental y de salud que hasta el día de hoy se está pagando. De lo anterior se puede apreciar que la humanidad no estaba enterada del poder mortífero que estaban desatando en aquella época y solo a raíz de las nefastas consecuencias se tomó consciencia de la importancia de estudiar la naturaleza de estas sustancias. A partir de la década de los 70's se han adelantado investigaciones en todo el mundo para desenmascarar los COP y conocer cómo se comportan al introducirse en los ecosistemas por diferentes vías.

### 6.1 Contaminantes orgánicos persistentes

Los contaminantes orgánicos persistentes (COP) son sustancias químicas orgánicas resistentes a la degradación por medios químicos, biológicos y fotolíticos. Estos compuestos en su mayoría están halogenados (con enlaces C-X; X=F,CL,Br), esta característica los dota de una liposolubilidad elevada en contraste con su baja hidrosolubilidad (Ritter, Solomon, & J.Forget, 1995). Una propiedad importante de estos compuestos es que hacen parte del grupo de los compuestos orgánicos semivolátiles (COSv), cuya característica principal es que se pueden encontrar fácilmente en la fase de vapor o bien pueden ser adsorbidos por el material particulado atmosférico y de esta manera son transportados por largas distancias.

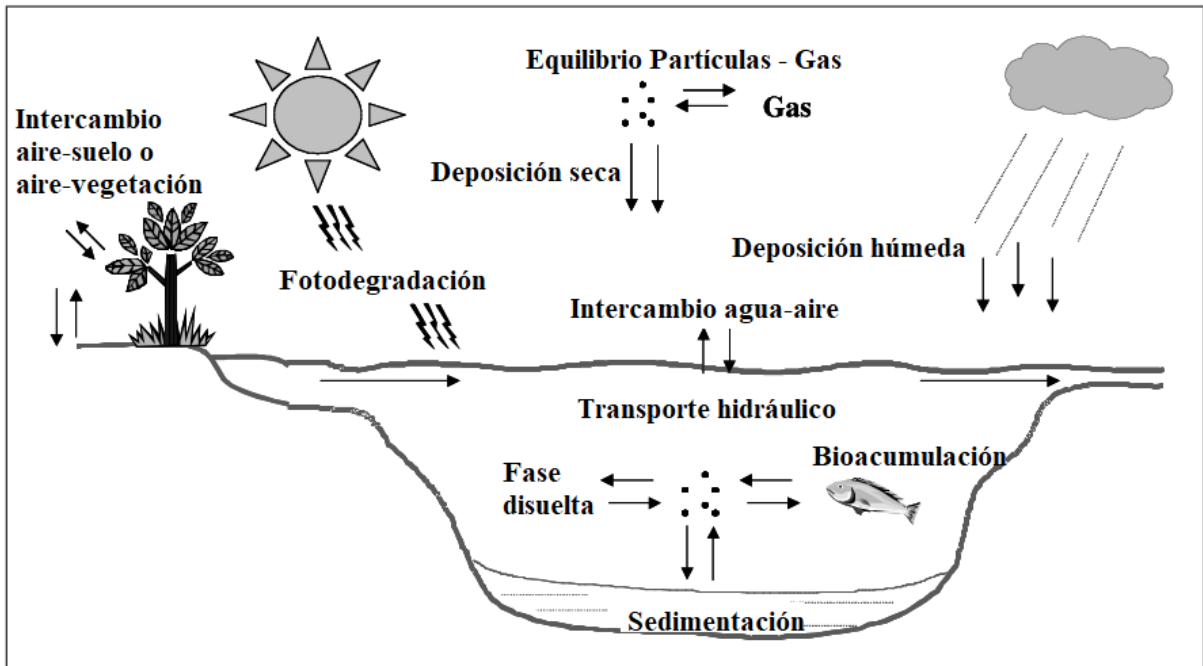
Los COP han sido medidos y encontrados en todos los continentes, en diferentes regiones geográficas e incluso en lugares remotos lejos de las fuentes principales de emisión, por esta razón se puede afirmar que estos compuestos son ubicuos. Lo anterior se relaciona estrechamente con sus propiedades fisicoquímicas ya que si hay un aumento en la temperatura se puede lograr una acumulación atmosférica de COP en fase gaseosa, produciéndose en consecuencia lo que Figuerelo (2004) menciona: una "condensación" en la noche, en la que disminuye la concentración de contaminantes volátiles en la atmósfera y una "evaporación" en las mañanas. Basados en esta característica de los COP, varios científicos han planteado el mecanismo de distribución global para estos contaminantes, ubicando como factor determinante del transporte y la deposición de estas sustancias al ligamiento o adhesión de los contaminantes a las partículas de la atmósfera; este mecanismo se ha denominado efecto de destilación global o efecto saltamontes e ilustra la manera en que los compuestos volátiles, en este caso los COP, son transferidos de zonas de latitudes bajas a latitudes altas a nivel global y que a nivel regional se ve influenciado por la altitud provocando acumulación de estos contaminantes en zonas altas a través de un proceso sucesivo de volatilización/condensación (Figura 1). A pesar de que no todas las sustancias COP muestran este patrón, en los Bifenilos policlorados (PCB) se observa claramente la tendencia por su variedad de congéneres que difieren en volatilidad, donde los congéneres menos clorados se acumulan en áreas con temperaturas muy bajas que son muy comunes a zonas de latitudes altas, mientras

que los congéneres menos volátiles se condensan a temperaturas alrededor de los 0°C. En torno a esto, Fernández & Grimalt (2003) concluyen en su trabajo que: “Los ecosistemas de altitudes mayores acumulan COP en el mismo grado que regiones de latitud alta, las cuales reciben los contaminantes por transporte atmosférico de largo alcance”.



**Figura 3.** Representación esquemática del efecto de destilación global a través del mecanismo del efecto saltamontes en áreas templadas. Pv, presión de vapor del líquido subenfriado, Tm, temperatura media del aire en cada región (Fernández & Grimalt, 2003).

Por otra parte, se han encontrado concentraciones elevadas de COP en las zonas tropicales de latitud intermedia o baja, lo cual se explica por el uso excesivo de estas sustancias en procesos agrícolas y en las fumigaciones para erradicar mosquitos u otros insectos transmisores de enfermedades como la malaria, el dengue o la fiebre amarilla. Se ha aclarado que el medio principal de dispersión global o transporte de los COP es la atmósfera y como tal es importante tener en cuenta que existen una serie de procesos en los que estas sustancias están relacionados no solo con la atmósfera sino con los demás factores ambientales del medio como el agua, los sedimentos y el suelo, como se observa en la figura 2. Dependiendo de la presión de vapor del contaminante y su temperatura de condensación el transporte a través de la atmósfera se va a llevar a cabo de manera más rápida; en regiones específicas como montañas de los Alpes se ha determinado que las concentraciones de COP en el hielo de los glaciares se deben en su mayoría a transporte de largo alcance y al efecto de destilación global influenciado por los cambios de temperatura, sin embargo han encontrado que los factores estacionales no interfieren en los patrones de concentración de los contaminantes (Villa, Negrelli, Maggi, Finizio, & Vighi, 2006).



**Figura 4.** Procesos ambientales principales durante el transporte de largo alcance de los COP (Fernández & Grimalt, 2003).

Químicamente hablando, el enlace cloro-carbono es muy estable a la hidrólisis y a medida que aumentan las sustituciones y los grupos funcionales la molécula se hace más resistente a la degradación por medios biológicos o físicos. Si bien su degradación es complicada, estos compuestos si sufren transformaciones al someterse a procesos químicos, biológicos y fotoquímicos. Los hidrocarburos clorados con pesos moleculares mayores a 236 g/mol se han caracterizado por acumularse en los tejidos adiposos, en contrario los hidrocarburos de peso molecular más bajo no tienen efectos toxicológicos tan graves y tienen vida media relativamente corta (Ritter et al., 1995).

La mayoría de los COP han sido sintetizados por el ser humano, por ejemplo el DDT (dicloro-difenil-tricloroetano) sintetizado en 1874 por el químico austriaco Othmar Zeidler y posteriormente descubierto como insecticida por el ganador del premio nobel de medicina Paul Müller en 1939 (Carson, 2013), o pueden ser producidos de manera no intencional como las dioxinas y furanos que son productos de la combustión de biomasa, incineración de residuos domésticos, hospitalarios e industriales y la producción de energía a partir de combustibles fósiles (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005).

La humanidad ha estado expuesta a los COP desde el principio de su utilización como insecticidas para eliminar vectores transmisores de enfermedades como la malaria. Las principales vías de acceso al organismo humano son la piel, la boca y la nariz, el contacto con la piel se ha dado en las pulverizaciones patrocinadas por los estados para erradicar piojos, ratas, escarabajos o termitas de cultivos o de áreas forestales, en un principio los principales afectados eran los trabajadores que rociaban y esparcieron los venenos, con el tiempo y el afán de erradicar muchas personas fueron cubiertas de estas sustancias a través de fumigaciones aéreas utilizando avionetas; al tratarse la mayoría de cultivos con estas sustancias, no hay producto que esté libre de

estos contaminantes y su incorporación al organismo se ha prolongado periódicamente; a las vías respiratorias estas sustancias llegan por su semivolatilidad y capacidad de adherirse a las mucosas del organismo. La exposición prolongada a los COP puede producir cáncer, malformaciones, daño cerebral, irritación de la piel, cloracné, esterilidad, disminución en la fertilidad lesiones en el hígado (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005).

En el medio ambiente, los efectos negativos de los COP están relacionados con la acumulación y concentración en tejidos grasos de organismos vivos y la posterior magnificación a través de la cadena alimentaria, esto fue corroborado a partir de los estudios de los tejidos grasos de osos polares y los eslabones más bajos de su cadena alimenticia (Iwata et al., 1994); los daños ecológicos por la afectación a diferentes especies se han venido presentando por la resistencia que generan los organismos que se pretenden eliminar con estos compuestos y los daños a nivel orgánico de otras especies que habitan los sitios que se fumigan, afectando no solo el sitio específico de aplicación sino las áreas circundantes con la contaminación de los componentes ambientales como las fuentes hídricas, los suelos y el aire. Actualmente, las concentraciones de COP en tejidos de varias especies de mamíferos marinos han superado el umbral de 1ppm causando preocupación pero no se ha confirmado efectos biológicos en las poblaciones (Letcher et al., 2010).

## **6.2 Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes**

Reconociendo que los contaminantes orgánicos persistentes tienen propiedades tóxicas, son resistentes 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 (PNUMA, 2011). Retomando las disposiciones pertinentes de los convenios internacionales sobre el medio ambiente, en especial el convenio de Basilea (1989) sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación, y de la declaración de Río sobre el medio ambiente (1992), el consejo de administración del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) solicitó un proceso de evaluación de una lista de 12 COP y que el Foro Intergubernamental de Seguridad Química elabore consideraciones para tomar medidas internacionales, concluyendo que era necesaria la acción internacional para disminuir los riesgos de estas sustancias además de un instrumento legal que vincule varias naciones.

En 1997 el consejo de administración del PNUMA preparó y convocó el Comité Internacional de Negociaciones (INC) con el fin de preparar un instrumento internacional jurídicamente vinculante para implementar acciones internacionales para los 12 COP iniciales y solicitando que el INC establezca un grupo de expertos para desarrollar criterios y un procedimiento para identificar COP adicionales como candidatos para futuras acciones internacionales. Su primera reunión se realizó en Montreal, Canadá, en 1998, donde se empezó a trabajar para construir el instrumento vinculante para la implementación de una acción internacional respecto a los COP, en

este año se creó el Grupo de expertos sobre criterios (CEG), que completó su mandato en la reunión de Viena en 1999.

Del 22 al 23 de mayo de 2001 se celebró una conferencia de plenipotenciarios donde se adoptó el convenio en Estocolmo, Suecia. La Convención entró en vigor el 17 de mayo de 2004, noventa días después de la presentación del quincuagésimo instrumento de ratificación, aceptación, aprobación o adhesión con respecto a la Convención.

Teniendo en cuenta el principio 15 de la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (1992), que reza lo siguiente:

“Con el fin de proteger el medio ambiente, los Estados deberán aplicar ampliamente el criterio de precaución conforme a sus capacidades. Cuando haya peligro de daño grave o irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces en función de los costos para impedir la degradación del medio ambiente” (Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, 1992).

El objetivo del Convenio de Estocolmo es proteger la salud humana y el medio ambiente frente a los contaminantes orgánicos persistentes (PNUMA, 2011).

El documento del Convenio en su versión del año 2010 consta de 30 artículos y siete anexos enlistados desde el literal A al G. La tabla 1 muestra cada uno de los artículos y anexos con sus temas de desarrollo.

<b>Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes</b>	
Artículo 1	Objetivo.
Artículo 2	Definiciones.
Artículo 3	Medidas para reducir o eliminar las liberaciones derivadas de la producción y utilización intencionales.
Artículo 4	Registro de exenciones específicas.
Artículo 5.	Medidas para reducir o eliminar las liberaciones derivadas de la producción no intencional.
Artículo 6	Medidas para reducir o eliminar las liberaciones derivadas de existencias y desechos.
Artículo 7	Planes de aplicación.
Artículo 8	Inclusión de productos químicos en los anexos A, B y C.
Artículo 9	Intercambio de información.
Artículo 10	Información, sensibilización y formación del público.
Artículo 11	Investigación, desarrollo y vigilancia.

Artículo 12	Asistencia técnica.
Artículo 13	Mecanismos y recursos financieros.
Artículo 14	Arreglos financieros provisionales.
Artículo 15	Presentación de informes.
Artículo 16	Evaluación de la eficacia.
Artículo 17	Incumplimiento.
Artículo 18	Solución de controversias.
Artículo 19	Conferencia de las partes.
Artículo 20	Secretaría.
Artículo 21	Enmiendas al convenio.
Artículo 22	Aprobación y enmienda de los anexos.
Artículo 23	Derecho de voto.
Artículo 24	Firma.
Artículo 25	Ratificación, aceptación, aprobación o adhesión.
Artículo 26	Entrada en vigor.
Artículo 27	Reservas.
Artículo 28	Retiro
Artículo 29	Depositario
Artículo 30	Textos auténticos.
Anexo A	Eliminación.
Anexo B	Restricción.
Anexo C	Producción no intencional.
Anexo D	Requisitos de información y criterios de selección.
Anexo E	Requisitos de información para el perfil de riesgos.
Anexo F	Información sobre consideraciones socioeconómicas.
Anexo G	Procedimiento arbitral y de conciliación para la solución de controversias.

**Tabla 2.** Estructura del documento del Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes (Elaboración propia).

Las principales metas del convenio de Estocolmo son: eliminar los COP existentes y los elementos que los contengan; apoyar la transición a otras soluciones más seguras;

proponer nuevos COP para que se tomen medidas mundiales; trabajar por la cooperación internacional para un futuro libre de COP (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005).

Las sustancias consignadas hasta el momento en el documento del Convenio de Estocolmo se muestran en la tabla 2, clasificadas de acuerdo al anexo en el que fueron consideradas, ya sea para su eliminación, restricción o producción no intencional. Para las sustancias enlistadas en el anexo A, las partes deben tomar las medidas necesarias para eliminar la producción y el uso; para las sustancias del anexo B, las partes deben restringir su uso y producción; por último, para las sustancias del anexo C, las partes tomarán medidas para reducir su liberación no intencional con la meta de reducirla a lo más mínimo y si es posible eliminarlas. La Convención permite a las partes registrar exenciones específicas por un período específico, en los anexos A y B se encuentran las exenciones específicas aplicables para la sustancia que lo requiera (Stockholm Convention, 2018a).

<b>ANEXO</b>	<b>PRODUCTO QUÍMICO</b>	<b>No de CAS</b>
A. Eliminación	Aldrina	309-00-2
	Alfa-hexaclorociclohexano	319-84-6
	Beta-hexaclorociclohexano	319-85-7
	Beta-clordano	57-74-9
	Clordecona	143-50-0
	Dieldrina	60-57-1
	Endrina	72-20-8
	Heptacloro	76-44-8
	Hexabromobifenilo	36355-01-8
	Hexaclorobenceno	118-74-1
	Lindano	58-89-9
	Mirex	2385-85-5
	Pentaclorobenceno	608-93-5
Bifenilos policlorados (PCB)	*	

	Endosulfán	959-98-8
	Pentaclorofenol	87-86-5
	Toxafeno	8001-35-2
	Éter de tetrabromodifenilo y éter de pentabromodifenilo(c-pentaPBDE)	40088-47-9 32534-81-9
	Éter de decabromodifenilo	1163-19-5
	Éter de hexabromodifenilo y éter de heptabromodifenilo	68631-49-2 2027122-15-4
	Hexabromociclododecano	25637-99-4
	Parafinas cloradas de cadena corta (SCCPs)	85535-84-8
B. Restricción	DDT (1,1,1-tricloro-2,2-bis(4-clorodifenil) etano)	50-29-3
	Ácido perfluorooctano sulfónico (PFOS)	1763-23-1
	Fluoruro de perfluorooctano sulfonilo (PFOSF)	307-35-7
C. Producción no intencional	Hexaclorobenceno (HCB)	118-74-1
	Pentaclorobenceno (PeCB)	608-93-5
	Dibenzoparadioxinas policloradas (PCDD)	*
	Dibenzofuranos policlorados (PCDF)	*
	Hexaclorobutadieno	87-68-3
	Naftalenos policlorados	70776-03-3

**Tabla 3.** Sustancias COP consignadas en los anexos A, B y C del Convenio de Estocolmo, versión 2010 (Elaboración propia).

\* Estas sustancias no tienen un solo número CAS pues corresponden a grupos de sustancias con diferentes niveles de peligrosidad de acuerdo a la cantidad de sustituciones de cloro en su estructura.



Existe un Comité de Examen de los COP (POPRC) que está formado por 31 expertos en los ámbitos de evaluación y gestión de productos químicos, designados por gobiernos de todas las regiones de las Naciones Unidas. Este comité examina las propuestas de inclusión de nuevos productos químicos que presentan las Partes en el Convenio conforme al artículo 8 del mismo (Secretaría del Convenio de Estocolmo, 2010).

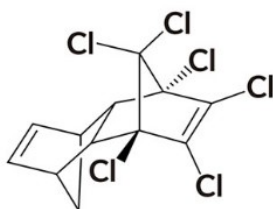
De acuerdo a lo pactado en el convenio, cada parte deberá: aplicar medidas de control para cada producto químico (Artículos 3 y 4); desarrollar e implementar planes de acción para los productos químicos producidos de forma no intencional (Artículo 5); realizar inventarios de los productos químicos existentes (Artículo 6); revisar y actualizar el plan nacional de implementación (Artículo 7); incluir las nuevas sustancias químicas en los reportes (Artículo 15); incluir los nuevos productos químicos en el programa de evaluación de la eficacia (Artículo 16) (Secretaría del Convenio de Estocolmo, 2010).

### 6.3 Los primeros 12 COP “La docena sucia”.

Como se mencionó anteriormente, en mayo de 1995 el consejo de administración del PNUMA solicitó una evaluación para consolidar información sobre química, toxicología y origen mundial, transporte y deposición, fuente de producción, uso, beneficios y riesgos, la disponibilidad de sustitutos y mecanismos para reducir / eliminar las emisiones de la docena sucia (Fuller & McGarity, 2003), grupo de sustancias con las que entró en vigor el Convenio de Estocolmo y con las cuales se trabajó hasta el 2008, cuando fueron incluidas nuevas sustancias a los anexos. Estos primeros contaminantes se organizaron en tres categorías (Stockholm Convention, 2018b):

- Pesticidas: Aldrina, clordano, DDT, dieldrina, endrina, heptacloro, hexaclorobenceno, mirex, toxafeno.
- Productos químicos industriales: Hexaclorobenceno, bifenilos policlorados (PCB).
- Derivados o subproductos: hexaclorobenceno; dibenzo-p-dioxinas policloradas y dibenzofuranos policlorados (PCDD / PCDF), y los PCB.

#### Aldrina o Aldrín.



**Figura 5.** Estructura molecular del Aldrín (Centro Nacional de Referencia sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes, 2004).

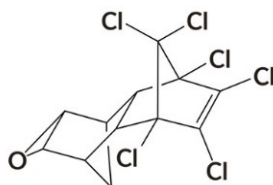
El Centro Nacional de Referencia sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes en España publicó un breve perfil de las sustancias COP que hacen parte del Convenio de Estocolmo (CNR COP, 2004), esta organización define a la aldrina, así:

Es un pesticida que se ha utilizado en el suelo contra insectos como termitas, gusanos del cultivo de maíz, saltamontes, entre otros insectos, también ha sido útil para proteger estructuras de madera. La aldrina se metaboliza en dieldrina en plantas y animales o al contacto con la luz solar y con bacterias, por esta razón no se encuentran residuos de aldrina en alimentos o animales y cuando se encuentra, aparece en cantidades mínimas. Se adhiere fácilmente a las partículas del suelo y no se lava con el agua.

La aldrina y los demás ciclodienos pueden actuar como termitocidas eficaces 20 años después de su aplicación. Al ser liposoluble se acumula en los tejidos de los organismos de niveles tróficos altos, con vidas medias de retención biológica de días a varias semanas. En humanos, la dosis fatal para un hombre adulto se estima en unos cinco gramos, equivalentes a unos 83 mg/Kg de peso. Los seres humanos están expuestos en su mayoría al aldrín a través de productos lácteos y carnes de animales. Los estudios en India indican que la ingesta diaria promedio de aldrín y su subproducto dieldrín es de aproximadamente 19 microgramos por persona. Este compuesto tiene efectos sobre el sistema nervioso y los síntomas de intoxicación incluyen dolor de cabeza, mareos, espasmos musculares y convulsiones.

En el ambiente la aldrina y la dieldrina se absorben rápidamente en el suelo, sobre todo en los que tienen mayor contenido de materia orgánica, su penetración en el suelo es baja y por lo tanto es poco probable el riesgo de infiltración a las aguas subterráneas. Su vida media en el suelo es entre 4 y 7 años(Residuos COP, 2017).

### Dieldrina o Dieldrín.



**Figura 6.** Estructura molecular del Dieldrín (Centro Nacional de referencia sobre contaminantes orgánicos persistentes, 2004).

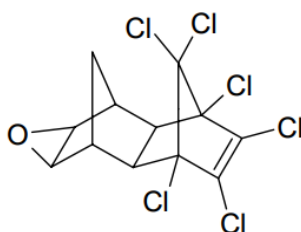
Definida por el CNRCOP (2004), así:

Se ha utilizado en la agricultura para controlar insectos del suelo, otros usos son como protector de madera y textiles y en fumigaciones contra insectos vectores de enfermedades. Este compuesto se asocia con las partículas del suelo y no se lava hacia las aguas subterráneas, por sus características fisicoquímicas se volatiliza de los suelos y aguas superficiales, pero se adhiere a partículas suspendidas y en los sedimentos, su vida media en el suelo es de aproximadamente cinco años. La acumulación en organismos acuáticos es elevada, la dieldrina es altamente tóxica para los peces y otros animales acuáticos, en particular las ranas, cuyos embriones pueden desarrollar deformidades espinales después de la exposición a niveles bajos. Los residuos

de dieldrina se han encontrado en el aire, el agua, el suelo, los peces, las aves y los mamíferos, incluidos los humanos.

La EPA (Environmental protection agency) clasificó al dieldrín como posible carcinógeno. La intoxicación aguda provoca hiperirritabilidad, convulsiones acompañadas de dolores de cabeza, náuseas y vómitos. La intoxicación crónica puede provocar espasmos musculares, desmayos, temblores y pérdida de peso, la dosis letal en humanos es aproximadamente cinco gramos (Residuos COP, 2017).

### Endrina o endrín.



**Figura 7.** Estructura molecular del Endrín (CNR COP-Centro Nacional de Referencia sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes, 2004a).

Definida por el CNRCOP (2004), así:

La endrina se utilizó rociado sobre las hojas de cultivos tales como el algodón y algunos granos, también se utilizó para controlar ratones y algunas aves; se empezó a usar en 1950 como plaguicida agrícola. Es un compuesto poco soluble y tiene afinidad por los lípidos, se adhiere a la materia orgánica del suelo y es muy persistente. El 50% puede permanecer en el suelo más de diez años.

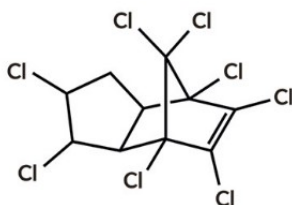
Debido a su baja hidrosolubilidad, el endrín no migra a las aguas subterráneas, pero se ha observado en zonas agrícolas. No parece que la biodegradación o la hidrólisis sean vías significativas de degradación de la endrina en suelos. La volatilización, junto con la fotodegradación y las transformaciones térmicas pueden degradar la endrina en superficies expuestas al sol, los principales productos de su degradación son el aldehído y la cetona de endrina. A pesar de su baja presión de vapor hasta un 30% puede evaporarse a los pocos días de la aplicación, en fase de vapor su vida media es de 2 días. En el aire la endrina está predominantemente adherida a partículas y puede ser depositada de nuevo en precipitación seca y en la lluvia.

La endrina no es biodegradada o hidrolizada en cantidades significativas en el medio acuático y tiene una vida media estimada en agua es de unos 4 años. En medio acuático la endrina se adhiere a los sedimentos y se concentra en los organismos y se han observado factores de bioconcentración de 10.000 en peces expuestos.

La endrina es metabolizada rápidamente en animales y se acumula poco en grasa comparado con otras sustancias de estructura parecida, como la

dieldrina; este compuesto ataca el sistema nervioso de los animales y también puede provocar malformaciones óseas. La endrina es muy tóxica para peces, invertebrados acuáticos y el fitoplancton. A dosis altas es neurotóxico en humanos.

### Clordano.



**Figura 8.** Estructura molecular del clordano (ResiduosCOP, 2018a).

Definido por el CNRCOP (2004), así:

El clordano es un insecticida de contacto de amplio espectro que se ha utilizado en cosechas agrícolas de hortalizas, granos, maíz y otras semillas para aceite, patatas, caña de azúcar, remolacha, frutas, nueces y algodón; también se ha utilizado en casas para controlar termitas y cucarachas.

El clordano es insoluble en agua y soluble en disolventes orgánicos. Es volátil y se asocia fácilmente a los sedimentos y las grasas con factores de bioconcentración de más de 30000 veces observados en peces.

Al ser un producto sintético que resulta de la mezcla de 23 compuestos diferentes, sus propiedades físicas y químicas son difíciles de especificar. El clordano técnico es un líquido viscoso hecho de una mezcla de muchos compuestos que son sólidos cuando están puros (una mezcla eutéctica)(ATSDR, 2018). El estado del producto técnico sólo determinará las propiedades específicas del producto más no del compuesto principal.

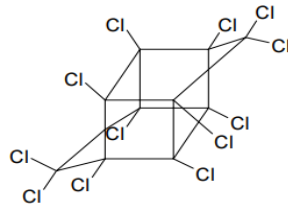
La exposición a clordano no ha sido asociada con aumentos del riesgo de cáncer. Si se han observado cambios significativos en el sistema inmunitario en personas expuestas a clordano. Es un estimulante del sistema nervioso central y los órganos que más afecta son el riñón y el hígado. Algunos efectos de la exposición son la baja producción de orina o producción de orina con sangre e hipertensión leve.

Clordano puede permanecer en el suelo por un año o más y tiene afinidad por los lípidos ambas condiciones facilitan la bioconcentración. Su volatilidad, persistencia y poca solubilidad en agua hacen que se desplace largas distancias en la atmósfera y ha sido detectado en la atmósfera el agua y los organismos del Ártico. La producción y uso de clordano fue prohibida en la UE 1979.

### Mirex.

Definido por el CNRCOP (2004), así:

El mirex comenzó a usarse como insecticida para el control de hormigas rojas en EEUU en 1950. Se utilizó también como pirorretardante en plásticos, goma, pintura, papel y equipos eléctricos y electrónicos se dejó de producir en 1976.



El 75% del mirex producido, se usó como pirorretardante y el 25% se usó como pesticida.

**Figura 9.** Estructura molecular del Mirex (CNR COP-Centro Nacional de Referencia sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes, 2004b).

Debido a su persistencia y el uso abundante que se hizo de él, aunque ya no se produce ni se usa, ha sido la causa de que se siga encontrando en cantidades significativas en el sur de los EEUU. Mirex es muy persistente y su degradación es muy lenta, con vidas medias en suelo de unos 10 años.

Es poco soluble en agua y liposoluble, lo que da lugar a que se acumule en los organismos de todos los niveles tróficos con factores de bioconcentración (BCF) de 2600 a 51400 en crustáceos y peces, respectivamente, y se concentra a lo largo de las redes tróficas. Los animales a los que se le suministraron grandes cantidades de mirex desarrollaron diarrea y los animales expuestos a niveles altos y bajos de mirex desarrollaron daños en el hígado. Puede causar cataratas en animales, si son expuestos ante o poco tiempo después de nacer.

Es relativamente volátil y en consecuencia, es transportado por la atmósfera a largas distancias. Se ha encontrado mirex en aguas dulces, organismos y personas en el ártico. Este compuesto se transporta a las aguas superficiales por escurrimientos de suelos contaminados, y se adhiere a partículas en suspensión o a los sedimentos de los cuerpos de agua.

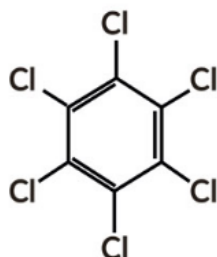
Tiene una toxicidad aguda moderada para mamíferos, siendo muy tóxico para crustáceos y peces. Se ha identificado su potencial como disruptor endocrino y como posible carcinogénico en personas. No está sujeto al procedimiento PIC (Prior Informed Consent for Certain Hazardous Chemicals) a pesar de estar prohibido en una mayoría de países. La exposición directa al mirex no parece causar daño a los humanos, pero los estudios en animales de laboratorio han provocado que se clasifique como un posible carcinógeno humano. En estudios mirex resultó tóxico para varias especies de plantas y para peces y crustáceos. Se considera uno de los plaguicidas más estables y persistentes, con una vida media de hasta 10 años. La principal ruta de exposición humana al mirex es a través de la comida, especialmente carne, pescado y caza silvestre.

### **Hexaclorobenceno (HCB).**

Definido por el CNR COP (2004), así:

El hexaclorobenceno (HCB) es un fungicida sólido cristalino de color blanco que se empezó a usar en 1945 para el tratamiento de semillas. HCB es también un producto secundario de la manufacturación de otras sustancias de uso industrial, en particular disolventes orgánicos. Se presenta como impureza

en otros pesticidas como pentaclorofenol y dicloram. Otras fuentes de emisión de HCB al medio ambiente, incluyen la continuación de su uso en algunos países y los almacenamientos o vertidos en países donde está prohibido. Una fuente menor de HCB al aire resulta del uso de mezclas pirotécnicas que



producen cortinas de humo de uso militar y civil en el entrenamiento de bomberos. Se utiliza también en la fabricación de gomas sintéticas y es un subproducto de la producción de compuestos clorados, especialmente bencenos de baja cloración, disolventes y pesticidas. También se emite en la incineración de residuos y en la industria metalúrgica.

**Figura 10.** Estructura molecular del Hexaclorobenceno (ResiduosCOP, 2018d).

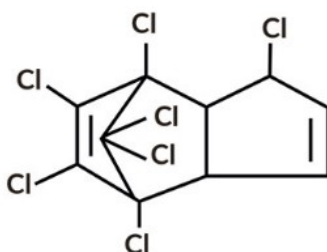
HCB es uno de los contaminantes ambientales más persistentes debido a su estabilidad química y resistencia a la degradación. En la atmósfera se encuentra en forma de vapor y la degradación es muy lenta. Las estimaciones de vidas medias atmosféricas son de varios meses en regiones tropicales y subtropicales, más de un año en regiones templadas y boreales y más de 6 años en regiones polares. En el agua se degrada muy poco y las vidas medias en aguas superficiales van de 2.7 a 5.7 años y hasta 11 años en aguas subterráneas. La volatilización desde la columna de agua es relativamente rápida sin embargo la afinidad de HCB por la materia orgánica puede hacerlo persistente en los sedimentos. Se volatiliza con facilidad de los suelos donde se adhiere a la materia orgánica. La vida media en suelo se estima entre 3 y 6 años.

El HCB se acumula en los organismos directamente desde el medio y se han observado factores de bioacumulación (BCF) de 375 a más de 35000 y se concentra también en las redes tróficas. Tiene efectos negativos en la reproducción y los tejidos reproductivos. IARC (International Agency for Research on Cancer) ha concluido que las pruebas de carcinogénesis en humanos no son concluyentes pero que existen suficientes pruebas en experimentos para clasificarlo como posible cancerígeno en personas.

Cuando las personas en el este de Turquía comieron granos de semillas tratados con HCB entre 1954 y 1959, desarrollaron una variedad de síntomas, que incluyen lesiones cutáneas fotosensibles, cólicos y debilitamiento; varios miles desarrollaron un trastorno metabólico llamado porfiria turcica, y el 14% murió. Las madres también pasaron HCB a sus bebés a través de la placenta y a través de la leche materna. En dosis altas, el HCB es letal para algunos animales y, a niveles más bajos, afecta negativamente a su éxito reproductivo. HCB se ha encontrado en alimentos de todo tipo. Un estudio de la carne

española encontró HCB presente en todas las muestras. En India, la ingesta diaria promedio estimada de HCB es de 0,13 microgramos por kilogramo de peso corporal.

### Heptacloro.



**Figura 11.** Estructura molecular del Heptacloro (ResiduosCOP, 2018c).

Definido por el CNRCOP (2004), así:

Es un insecticida de contacto no sistémico que se ha usado contra insectos del suelo, principalmente, las termitas, se ha usado en cultivos de algodón, contra la langosta y para combatir el paludismo. El heptacordio también se usó extensamente en el pasado como plaguicida en viviendas, edificios y en cosechas de alimentos. Estos usos terminaron en el año 1988. Actualmente sólo puede usarse para el control de hormigas en transformadores bajo tierra.

Es muy insoluble en agua y soluble en solventes orgánicos, por esta afinidad, se liga con sedimentos orgánicos y se concentra en la grasa de los organismos. Se volatiliza con facilidad y en consecuencia una fracción se desplaza a la atmósfera, en su fase de vapor su vida media es de 6,3 horas (Residuos COP, 2017).

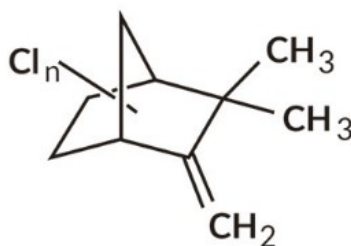
El heptacloro es metabolizado por los animales y bacterias en epóxido de heptacloro, que tiene una toxicidad parecida y se acumula en la grasa, es más probable encontrar epóxido de heptacloro que heptacloro en el ambiente. Existen pocos datos cuantitativos de exposición y efectos en humanos, pero está claro que el heptacloro y el epóxido de heptacloro pueden tener efectos nocivos dados una exposición de duración o dosis suficiente. La principal fuente de exposición de los seres humanos al heptacloro son los alimentos que fueron tratados con esta sustancia.

Heptacloro es uno de los pesticidas ciclodienos diseñados para actuar como neurotóxico en insectos, dañando el sistema nervioso central en personas y animales. El hígado también se ve afectado. Se ha desarrollado métodos extremadamente sensibles para medir heptacloro y epóxido de heptacloro en el medio y en muestras biológicas o médicas, con límites de detección de 10 ng/L. La presencia de heptacloro puede reflejar la una exposición a heptacloro o clordano ya que el clordano es metabolizado en heptacloro y epóxido de heptacloro. Si no se encuentran residuos de clordano, el epóxido de heptacloro probablemente procede de heptacloro. El heptacloro y el epóxido de heptacloro son moderadamente tóxicos para humanos y animales y pueden dañar el sistema nervioso.

## Toxafeno.

Definido por el CNRCOP (2004), así:

El toxafeno es una mezcla de cientos de compuestos clorados diferentes. Fue uno de los pesticidas más usados en los Estados Unidos hasta el año 1982, fecha en la que se prohibieron la mayoría de sus usos. En el año 1990 se prohibieron todos sus usos. El toxafeno se usó principalmente en el sur de los Estados Unidos para controlar insectos en cosechas de algodón y en otras



cosechas. Generalmente se encuentra en forma de sólido o gas. En su forma original, el toxafeno es un sólido ceroso de color amarillo a ámbar que huele a pinos (ResiduosCOP, 2018e).

**Figura 12.** Estructura molecular del Toxafeno (ResiduosCOP, 2018e).

Toxafeno es un insecticida, también llamado canfecloro, que se ha empleado en los cultivos de algodón, cereales, frutas, nueces y hortalizas. Se ha utilizado asimismo para luchar contra las garrapatas y los ácaros del ganado. La composición del Toxafeno es una mezcla compleja de al menos 670 terpenos bicíclicos policlorados, con un 67-69% en peso de cloro, compuesta predominantemente de canfenos policlorados (PCCs) que se obtiene de la cloración de resinas de pino. El transporte y la transformación de cada uno de estos componentes se ve influenciada por sus características físicas y químicas, además de las de la mezcla en su conjunto.

Toxafeno se volatiliza fácilmente del suelo, es persistente en la atmósfera y se ha encontrado en muestras físicas y biológicas en el Ártico, en su fase de vapor la vida media es de 4,7 días. Una vez penetra en el suelo se adhiere a las partículas y es resistente a la lixiviación. La vida media en suelos se ha estimado entre 70 días y 12 años, en función del tipo de suelo y las condiciones en que se encuentre. Se elimina en poco tiempo de las cosechas por lavado y evaporación. En agua ha demostrado permanecer durante años en concentraciones que son tóxicas para peces. Por su afinidad con los lípidos tiene una fuerte capacidad de bioconcentración con factores (BCF) de 427 en mosquitos y 76000 en truchas. Es tóxico para especies acuáticas y algunas especies terrestres. Es muy tóxico para peces, exposiciones prolongadas a 0.5  $\mu\text{g/L}$  reducen la viabilidad de los huevos a cero.

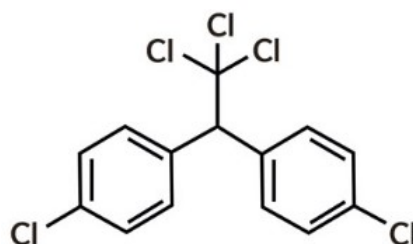
Existe amplia prueba de su acción como disruptor endocrino. Toxafeno es carcinogénico en animales de laboratorio y IARC (1979)<sup>3</sup> evaluó el riesgo de la exposición a toxafeno y concluyó que había suficientes pruebas de que era carcinogénico como para pensar que presenta un riesgo para las personas. La dosis letal de toxafeno para un ser humano adulto es de 2g a 7g.



### DDT (Diclorodifeniltricloroetano).

Para la ATSDR esta sustancia es:

El DDT (1,1,1-tricloro-2,2-bis (p-clorofenil) etano) es un pesticida que una vez fue ampliamente utilizado para controlar insectos en cultivos agrícolas e insectos que transmiten enfermedades como la malaria y el tifus, pero ahora se usa en solo unos pocos países para controlar la malaria. El DDT de grado técnico es una mezcla de tres formas, p, p'-DDT (85%), o, p'-DDT (15%) y o, o'-DDT (cantidades traza). Todos estos son sólidos blancos, cristalinos, insípidos y casi inodoros. El DDT de grado técnico también puede contener DDE (1,1-dicloro-2,2-bis (p-clorofenil) etileno) y DDD (1,1-dicloro-2,2-bis (p-clorofenil) etano) como contaminantes. El DDD también se usó para matar plagas, pero



en un grado mucho menor que el DDT. Una forma de DDD (o, p'-DDD) se ha usado médicamente para tratar el cáncer de las glándulas suprarrenales. Tanto el DDE como el DDD son productos de degradación del DDT.

**Figura 13.** Estructura molecular del DDT (ResiduosCOP, 2018b).

DDT no existe de forma natural en el medio ambiente. Después de 1972, el uso de DDT ya no es permitido en los Estados Unidos, excepto en casos de emergencia de salud pública. Sin embargo, todavía se usa en algunas otras áreas del mundo, sobre todo para controlar la malaria. El uso de DDD para matar plagas también ha sido prohibido en los Estados Unidos.

El DDT fue ampliamente utilizado durante la Segunda Guerra Mundial para proteger a los soldados y civiles de la malaria, el tifus y otras enfermedades propagadas por los insectos. Después de la guerra, el DDT continuó usándose para controlar enfermedades, y se roció en una variedad de cultivos agrícolas, especialmente algodón. El DDT continúa siendo aplicado contra los mosquitos en varios países para controlar la malaria. Su estabilidad, su persistencia (hasta un 50% puede permanecer en el suelo 10-15 años después de la aplicación) y su uso generalizado han permitido que los residuos de DDT se encuentren en todas partes; el DDT residual incluso se ha detectado en el Ártico (PNUMA, 2011).

Tal vez el efecto tóxico más conocido del DDT es el adelgazamiento de la cáscara de huevo entre las aves, especialmente las aves de rapiña. Su impacto en las poblaciones de aves dio lugar a prohibiciones en muchos países durante la década de 1970. Aunque su uso ha sido prohibido en muchos países, se ha detectado en alimentos de todo el mundo. Aunque los residuos en los animales domésticos han disminuido de manera constante en las últimas dos décadas, el DDT transmitido por los alimentos sigue siendo la mayor fuente de

exposición para la población en general. Los efectos agudos a corto plazo del DDT en humanos son limitados, pero las exposiciones a largo plazo se han asociado con efectos crónicos en la salud. El DDT se ha detectado en la leche materna, lo que plantea serias preocupaciones sobre la salud infantil.

El Centro Nacional de Referencia sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes de España describe esta sustancia de la siguiente manera:

El DDT tiene una posición muy especial en la historia de los COP. Fue sintetizado por primera vez en 1873 por Othmar Zeidler que trabajaba en el laboratorio de Adolph von Bayer en la Universidad de Estrasburgo. En 1939 Paul Müller descubrió las propiedades insecticidas de esta sustancia y en 1942 los entomólogos que trabajan para el ejército de EEUU, buscando activamente una sustancia capaz de controlar el tifus, el paludismo y otras enfermedades transmitidas por insectos, prueban la sustancia producida en el laboratorio de Müller en Suiza e identifican su eficacia como insecticida en concentraciones muy bajas y durante periodos largos de tiempo. Entre 1942 y 1945 se realizaron pruebas de toxicidad en personas y en el medio y se observaron efectos tóxicos a dosis muy altas, pero no en aplicaciones normales y se observaron efectos nocivos sobre otros insectos beneficiosos, organismos acuáticos y aves. El ejército de los EEUU estableció normas estrictas de aplicación para evitar estos efectos nocivos sobre otros organismos en la medida de lo posible. En junio de 1945 se fabricaban 1.5 millones de kilos al mes partiendo de cero en 1942 y 100.000 kilos en todo 1943. A partir de 1946 fue comercializado al público y las restricciones originalmente impuestas por el ejército se desvanecieron. El uso y la producción de DDT se propagó intensamente hasta 1960 cuando las pruebas de su toxicidad a dosis bajas y la aparición de insectos resistentes comenzaron a deteriorar la imagen del DDT que había aparecido como un héroe de la guerra y un símbolo del progreso resultante de esta. En 1962 la bióloga Rachel Carson publica "Silent Spring" la primera denuncia de gran impacto público del riesgo que representan las sustancias organocloradas como el DDT.

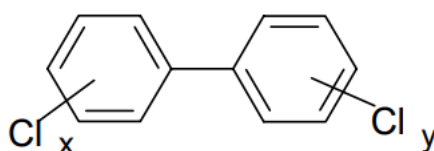
En 1969 Suecia y en 1972 EEUU y una mayoría de países prohíben la producción y el uso de DDT exceptuando los usos relacionados con la salud pública. en Colombia el Ministerio de salud prohibió su importación, producción, formulación, comercialización, uso y manejo a partir de la resolución 10255 de 1993. Las concentraciones ambientales y las cantidades observadas en organismos, en general, han disminuido desde entonces. Una vez introducido en el medio ambiente, el DDT se difunde por el suelo, el agua y el aire y procesos de biodegradación por dechloración reductiva forman DDE y DDD. DDT y sus metabolitos son esencialmente inmóviles en el suelo y son adsorbidos fuertemente a las partículas de la superficie. Por su muy baja solubilidad el DDT y sus metabolitos se asocian a las partículas en el agua y se deposita en sedimentos. Pueden viajar largas distancias en la atmósfera en ciclos repetidos de volatilización desde suelos y superficies de agua, en la medida que su volatilidad disminuye con la temperatura el transporte atmosférico resulta en una migración de zonas más cálidas a regiones más frías donde se deposita. El transporte a larga distancia tiene como consecuencia una dispersión global del DDT y sus metabolitos, su persistencia

y afinidad por los lípidos hace que se concentre en organismos y se acumule en las redes tróficas.

El efecto mejor conocido del DDT es la interrupción de la transmisión de impulsos nerviosos. Se han observado sus efectos en humanos y animales y pueden variar de ligeras perturbaciones a convulsiones. Las personas parecen poder resistir dosis altas (285 mg/kg) sin resultados fatales. Además de ser neurotóxico DDT puede inducir alteraciones importantes en la reproducción y desarrollo de organismos. Estos efectos se relacionan con los efectos del DDT y sus metabolitos en el sistema hormonal como disruptor endocrino.

Estudios en humanos sugieren que altas cargas corporales de DDT/DDE pueden estar asociadas con alteraciones en procesos controlados por funciones hormonales como la duración de la lactancia, el mantenimiento del embarazo y la fertilidad. La vía de exposición principal para la población en general es la dieta. A pesar de que el DDT y sus metabolitos se encuentran por todas partes en la atmósfera, las concentraciones son tan bajas que la exposición por inhalación o contacto dérmico se consideran insignificantes. Desde el punto de vista de la exposición por la dieta esta se debe al consumo de productos procedentes de zonas donde se todavía se usa DDT o que pueden haber bioacumulado residuos como la carne, el pescado, las aves, o los productos lácteos. La ingesta diaria total de DDT, DDE y DDD en la dieta se evaluó en 1.4 µg/día (DDT+DDE+DDD) por persona en España en 1990-915 Desde 1972 las concentraciones han disminuido, pero siguen encontrándose trazas de DDT y sus metabolitos en personas organismos y en muchos productos de consumo en todo el mundo.

### Bifenilos policlorados (PCB)



**Figura 14.** Estructura molecular general para los PCB (Rocha, Peralta, & Zavala, 2015).

De acuerdo con el Centro Nacional de Referencia sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes de España, los bifenilos policlorados, (polychlorinated biphenyls (PCB)) son:

Mezclas de hidrocarburos clorados que se han utilizado intensamente desde 1930, en una variedad de usos industriales, incluyendo transformadores y condensadores, en líquidos para intercambio de calor, como aditivos en pinturas, como sellantes en la construcción, en papel de copia y plásticos. Las múltiples aplicaciones industriales de los bifenilos policlorados se deben a que son químicamente muy inertes, resisten al calor, no arden fácilmente, son poco volátiles, y tienen una alta constante dieléctrica y en consecuencia son poco conductores.

Existen 209 isómeros de bifenilos policlorados desde los isómeros monoclorados hasta el isómero con 10 átomos de cloro. En general, la solubilidad y la presión de vapor disminuyen al aumentar el número de

posiciones cloradas. Los bifenilos policlorados en el medio se asocian con los componentes orgánicos del suelo, en sedimentos en la materia orgánica en suspensión y en tejidos biológicos. Los bifenilo policlorados se volatilizan de la superficie del agua a pesar de su baja presión de vapor, en parte debido a que son hidrofóbicos y en consecuencia, el transporte atmosférico es un componente importante en su distribución en el medio.

La persistencia en el medio de los bifenilos policlorados depende mucho del grado de cloración y aumenta con éste, puede oscilar entre unos pocos días para bifenilos monoclorados sometidos a fotodegradación a años, décadas o más para bifenilos más clorados y en entornos menos reactivos.

La afinidad por los lípidos de los bifenilos policlorados resulta en factores muy altos, más de 100 000 veces, de bioconcentración (incorporación directa del agua) y de bioacumulación (incorporación en la dieta).

Se encuentran cantidades variables de bifenilos policlorados en todos los medios bióticos y abióticos. Las concentraciones más elevadas en agua y sedimentos corresponden a fuentes localizadas de vertidos. Las concentraciones ambientales y las cargas corporales de bifenilos policlorados son menores que en los años 70 y 80, pero no han disminuido significativamente en la última década.

La toxicología de los bifenilos policlorados depende del número y la posición de los átomos de cloro. Si éstos están en posición orto los anillos no pueden rotar, y los isómeros en este grupo se llaman coplanares y los demás no-coplanares. Los bifenilos policlorados coplanares interactúan con los mismos receptores celulares que las dioxinas y los furanos, y tienen efectos similares. Tienen una toxicidad aguda baja, es decir, los efectos agudos se observan a dosis muy altas, mientras que dosis bajas, no muestran efectos agudos, pero son promotores de tumores y tienen efectos crónicos en el desarrollo del sistema endocrino e inmunitario.

El primer reglamento en relación con los bifenilos policlorados en la Unión Europea fue adoptado por la CEE en 1976, limitando su uso a circuitos cerrados, en 1985 se prohibió su uso como materia prima o producto intermedio, en 1987 fueron completamente prohibidos y la directiva de septiembre de 1996 (96/59) impone la eliminación total antes de diciembre de 2010. El programa estratégico para el mediterráneo del PNUMA también considera el objetivo de la eliminación para 2010.

Estos compuestos se usan en la industria como fluidos de intercambio de calor, en transformadores y condensadores eléctricos, y como aditivos en pintura, papel de copia sin carbón y plásticos. De los 209 tipos diferentes de PCB, exposición una toxicidad similar a la dioxina. Su persistencia en el medio ambiente corresponde al grado de cloración, y las vidas medias pueden variar de 10 días a un año y medio.

Los PCB son tóxicos para los peces, los matan a dosis más altas y causan fallas en el desove a dosis más bajas. La investigación también vincula a los PCB con la falla reproductiva y la supresión del sistema inmunitario en varios animales salvajes, como las focas y el visón.

Un gran número de personas han estado expuestas a PCB a través de la contaminación de los alimentos. El consumo de aceite de arroz contaminado con PCB en Japón en 1968 y en Taiwán en 1979 causó la pigmentación de las uñas y las membranas mucosas y la hinchazón de los párpados, junto con la fatiga, las náuseas y los vómitos. Debido a la persistencia de los PCB en el cuerpo de sus madres, los niños nacidos hasta siete años después del incidente de Taiwán mostraron retrasos en el desarrollo y problemas de conducta. Del mismo modo, los hijos de madres que comieron grandes cantidades de pescado contaminado del lago Michigan mostraron una peor función de la memoria a corto plazo. Los PCB también suprimen el sistema inmune humano y se enumeran como probables carcinógenos humanos (Stockholm Convention, 2018b).

### **Dioxinas.**

La convención de Estocolmo describe brevemente estas sustancias, así:

Estos productos químicos se producen involuntariamente debido a una combustión incompleta, así como durante la fabricación de pesticidas y otras sustancias cloradas. Se emiten principalmente a partir de la quema de desechos hospitalarios, desechos municipales y desechos peligrosos, y también de emisiones de automóviles, turba, carbón y madera. Hay 75 dioxinas diferentes, de las cuales siete se consideran de interés. Se encontró que un tipo de dioxina estaba presente en el suelo entre 10 y 12 años después de la primera exposición.

Las dioxinas se han asociado con una serie de efectos adversos en los seres humanos, incluidos los trastornos inmunes y enzimáticos y el cloracné, y se clasifican como posibles carcinógenos humanos. Los animales de laboratorio que recibieron dioxinas sufrieron una variedad de efectos, incluido un aumento en los defectos de nacimiento y la muerte fetal intrauterina. Los peces expuestos a estas sustancias murieron poco después de que la exposición terminó. La comida (especialmente de animales) es la principal fuente de exposición para los humanos.

En el perfil toxicológico de la ATSDR se encuentra la siguiente información:

Las DDPCs son una familia de 75 compuestos relacionados químicamente llamados dioxinas policloradas. Uno de estos compuestos se llama 2,3,7,8-DDTC. Es una de las más tóxicas de las DDPC y es la más estudiada.

En forma pura, las DDPC son sólidos cristalinos incoloros. Las DDPCs entran al medio ambiente en forma de mezclas que contienen numerosos componentes individuales. 2,3,7,8-DDTC es inodoro, las otras DDPCs no se sabe a qué huelen.

Las industrias no manufacturan DDPCs intencionalmente excepto para investigación. Estos compuestos (principalmente 2,3,7,8-DDTC) pueden formarse durante el proceso de blanqueamiento con cloro en aserraderos de pulpa y papel. Las DDPCs se forman también durante la cloración de aguas en plantas de tratamiento de residuos y de agua potable. Pueden producirse como contaminantes en la manufactura de ciertos productos químicos orgánicos. Las

DDPCs se liberan al aire en emisiones de incineradores de residuo sólido municipales o industriales.

Las DDPCs (principalmente la 2,3,7,8-DDTC) pueden formarse durante el proceso de blanqueamiento con cloro usado en la industria del papel. Las DDPCs ocurren como contaminantes en los procesos de manufactura de ciertas sustancias químicas orgánicas cloradas, tales como los clorofenoles. La 2,3,7,8-DDTC es un producto secundario formado durante la manufactura de 2,4,5-triclorofenol (2,4,5-TCF). El 2,4,5-TCF se usó para producir hexaclorofeno (usado para matar bacterias) y el herbicida ácido 2,4,5-triclorofenoxiacético (2,4,5-T). Varias preparaciones de 2,4,5-T se han usado extensamente como herbicidas en cosechas y campos abiertos, y a lo largo de carreteras. El 2,4,5-T era un componente del Agente Naranja, sustancia usada extensamente por el ejército de EE. UU. durante la guerra de Vietnam. En la mayoría de los países industrializados, el uso de productos contaminados con DDPCs se ha reducido considerablemente. Actualmente el uso del hexaclorofeno y del herbicida 2,4,5-T está restringido en Estados Unidos. Otras sustancias químicas cloradas, como el pentaclorofenol, usado para preservar madera, contienen algunos de los DDPCs con más átomos de cloro, pero generalmente no contiene 2,3,7,8-DDTC. El uso del pentaclorofenol se ha restringido a ciertas aplicaciones de manufactura. Actualmente, las DDPCs se liberan al ambiente principalmente durante la combustión de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) y madera, y durante procesos de incineración (incineración de desechos sólidos municipales y de hospitales y residuos peligrosos de sitios de desechos). En tanto la incineración puede que sea actualmente la principal fuente de liberación de DDPCs al ambiente, las cantidades de DDPCs producidas por incineración son extremadamente pequeñas. Las DDPCs están asociadas con cenizas generadas en procesos de incineración y combustión. Las emisiones desde incineradores varían enormemente y dependen de las prácticas de manejo y las tecnologías que se aplican. También se han detectado bajas concentraciones de DDPCs en el humo de cigarrillo, sistemas de calefacción domésticos y en las emisiones del escape de automóviles que usan gasolina (con o sin plomo) o diesel. Las DDPCs pueden generarse al quemar una variedad de materiales que contienen cloro, tales como plásticos, madera tratada con pentaclorofenol, residuos tratados con plaguicidas y otras sustancias químicas policloradas (bifenilos policlorados o BPCs). Quemar papel blanqueado también puede generar DDPCs.

Aunque en este resumen de salud pública se tratan las DDPCs, es importante hacer notar que las DDPCs se encuentran en el ambiente junto con otras sustancias químicas cloradas relacionadas, tales como los dibenzofuranos policlorados (DFPCs) y bifenilos policlorados (BPCs). Por lo tanto, la gente generalmente está expuesta a mezclas de DDPCs y otras clases de compuestos toxicológica y estructuralmente similares. La 2,3,7,8-DDTC es una de las DDPCs más tóxicas y más estudiadas y sirve de prototipo para las DDPCs más importantes toxicológicamente. Basado en resultados de estudios en animales, los científicos han descubierto que pueden expresar la toxicidad de las DDPCs similares a la 2,3,7,8-DDTC como una fracción de la toxicidad

atribuida a la 2,3,7,8-DDTC. Por ejemplo, la toxicidad de las DDPCs puede ser la mitad o un décimo o cualquier fracción de la toxicidad de la 2,3,7,8-DDTC. Los científicos llaman a esta fracción Factor de Toxicidad Equivalente.

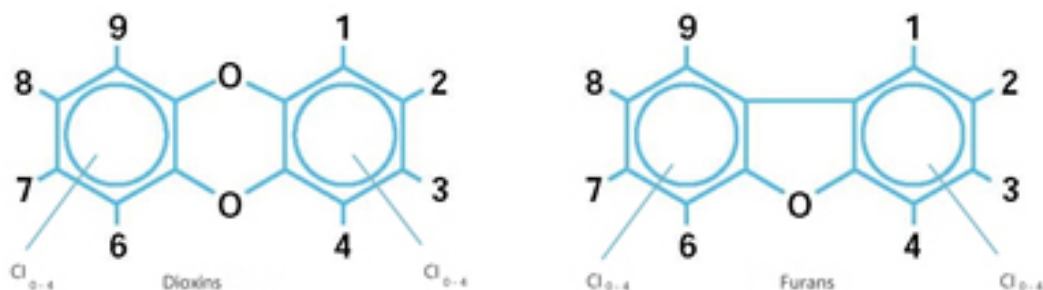
## Furanos

En el perfil toxicológico de la ATSDR se encuentra la siguiente descripción:

Los CDF son una familia de productos químicos conocidos como dibenzofuranos clorados. Estos productos químicos contienen de uno a ocho átomos de cloro unidos a los átomos de carbono de la sustancia química principal, dibenzofurano. La familia de CDF contiene 135 compuestos individuales (conocidos como congéneres) con diversos efectos perjudiciales para la salud y el medio ambiente. De estos 135 compuestos, aquellos que contienen átomos de cloro en las posiciones 2,3,7,8 de la molécula madre de dibenzofurano son especialmente dañinos. Además de para el uso en laboratorio de pequeñas cantidades de CDF con fines de investigación y desarrollo, estos productos químicos no son producidos deliberadamente por la industria. La mayoría de los CDF se producen en cantidades muy pequeñas como impurezas no deseadas de ciertos productos y procesos que utilizan compuestos clorados. Solo unos pocos de los 135 compuestos CDF se han producido en cantidades suficientemente grandes como para poder estudiar sus propiedades, como el color, el olor, el sabor y la toxicidad. Los pocos compuestos CDF que se han producido en esas cantidades son sólidos incoloros. No se disuelven en agua muy fácilmente.

En la página de la convención de Estocolmo describen brevemente estas sustancias como aparece en seguida:

Estos compuestos se producen involuntariamente a partir de muchos de los mismos procesos que producen dioxinas, y también durante la producción de PCB. Se han detectado emisiones de incineradores de residuos y automóviles. Los furanos son estructuralmente similares a las dioxinas y comparten muchos de sus efectos tóxicos. Hay 135 tipos diferentes, y su toxicidad varía. Los furanos persisten en el medio ambiente durante períodos prolongados y se clasifican como posibles carcinógenos humanos. Los alimentos, especialmente los productos de origen animal, son la principal fuente de exposición para los humanos. Los furanos también se han detectado en bebés amamantados.



**Figura 15.** Estructuras moleculares generales para dibenzodioxinas y dibenzofuranos con sus respectivas posiciones (Comisión para la Cooperación Ambiental, 2016).

## 6.4 Los nuevos COP.

De acuerdo con el informe del Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes sobre la labor de su cuarta reunión, llevada a cabo en Ginebra del 13 al 17 de octubre de 2008, se estudiaron algunos planes de gestión de riesgo respecto a ciertas sustancias candidatas a ser incluidas en los anexos A, B y C del convenio de Estocolmo. En esta reunión los presidentes de cada grupo de trabajo sobre las sustancias en consideración hicieron la presentación sobre la elaboración de la evaluación de la gestión de riesgos para la sustancia en específico.

Luego del análisis y las deliberaciones sobre las evaluaciones de la gestión de riesgo para las sustancias, el comité decidió de conformidad con en el párrafo 9 del artículo 8 del Convenio, recomendar a la Conferencia de las Partes que considere la posibilidad de incluir cada sustancia en el anexo A, B o C del Convenio, asignando la debida consideración a características o situaciones particulares de cada sustancia. En reuniones posteriores como la quinta en 2009 se fueron incluyendo otras sustancias, como el endosulfán, hasta llegar a 16 nuevos COP en 2017. Las sustancias evaluadas e incluidas en los anexos aparecen en la tabla 3.

Sustancia	Anexo al que se incluyó	Exención específica.
Alfa hexaclorociclohexano	A	Ninguna
Beta hexaclorociclohexano	A	Ninguna
Clordecona	A	Ninguna
Hexabromobifenilo	A	Ninguna
Hexabromociclodecano	A	Producción: Según lo permitido por las partes enumeradas en el Registro de exenciones específicas. Uso: Poliestireno expandido y poliestireno extruido en edificios de acuerdo con las disposiciones de la Parte VII del Anexo A
Éter de hexabromodifenilo y éter de heptabromodifenilo	A	Uso: artículos, conforme a las disposiciones de la Parte IV del Anexo A
Hexaclorobutadieno	A & C	Ninguna
Lindano	A	Uso: productos farmacéuticos sanitarios para el control de la pediculosis del cabello y la escabiosis como tratamiento de segunda línea
Pentaclorobenceno	A & C	Ninguna



Pentaclorofenol, sus sales y ésteres	A	Producción: según lo permitido para las partes enumeradas en el Registro de conformidad con las disposiciones de la Parte VIII del Anexo A Uso: Pentaclorofenol para postes de electricidad y brazos cruzados de acuerdo con las disposiciones de la Parte VIII del Anexo A
ácido perfluorooctanosulfónico (PFOS) sus sales y fluoruro de perfluorooctano sulfonilo.	B	Uso: finalidades aceptables y exenciones específicas conforme a la Parte III del Anexo B.
Naftalenos policlorados	A & C	Producción: Para el uso a continuación. Uso: Producción de naftalenos polifluorados, incluido octafluoronaftaleno
Endosulfán técnico y sus isómeros relacionados	A	Producción: según lo permitido para las partes enumeradas en el Registro. Uso: Complejos de plagas de cultivo enumerados de conformidad con las disposiciones de la Parte VI del Anexo A
Éter de tetrabromodifenilo y éter de pentabromodifenilo	A	Uso: artículos, conforme a las disposiciones de la Parte IV del Anexo A
Éter de decabromodifenilo	A	Producción: según lo permitido para las partes enumeradas en el Registro. Uso: Vehículos, aeronaves, textiles, aditivos en carcasas de plástico, etc., espuma de poliuretano para aislamiento de edificios, de conformidad con la Parte IX del Anexo A
Parafinas cloradas de cadena corta	A	Producción: Según lo permitido para las partes enumeradas en el Registro. Uso: Aditivos en correas de transmisión, cintas transportadoras de caucho, cuero, aditivos lubricantes, tubos para decoración de interiores, pinturas, adhesivos, procesamiento de metales,

		plastificantes.
--	--	-----------------

**Tabla 4.** Sustancias COP incluidas a partir de la cuarta reunión del comité de examen de los contaminantes orgánicos persistentes (Stockholm Convention Secretariat, 2017).

La convención define y describe esas sustancias de la siguiente manera:

#### **Alfa clorociclohexano y beta clorociclohexano.**

La mezcla técnica de hexaclorociclohexano (HCH) contiene principalmente cinco formas de isómeros, denominados alfa-, beta-, gamma-, delta- y epsilon-HCH. Lindano es el nombre común para el isómero gamma de HCH. El alfa- y beta-HCH son altamente persistentes en agua en regiones frías y puede bioacumularse y biomagnificarse en la biota y en las redes alimenticias árticas. Están sujetos al transporte de largo alcance, están clasificados como carcinógenos potenciales para humanos y afectan negativamente la salud de la vida salvaje y los humanos en regiones contaminadas. El uso de alfa- y beta-HCH como insecticidas fue eliminado tiempo atrás, pero estas sustancias se han generado como subproductos del lindano. Por cada tonelada de lindano que se produce, alrededor de 6-10 toneladas de alfa- y beta-HCH se producen. Por lo tanto, hay muchas reservas que conducen a la contaminación del sitio (Stockholm Convention Secretariat, 2017).

#### **Clordecona**

La clordecona está relacionada químicamente con el mirex. Es altamente persistente en el medio ambiente, tiene un alto potencial para bioacumularse y biomagnificarse y basados en las propiedades fisicoquímicas, la clordecona puede ser transportada por largas distancias. Está clasificada como un posible carcinógeno humano y es muy tóxico para los organismos acuáticos. La clordecona es un compuesto orgánico clorado sintético, que ha sido usado principalmente como pesticida agrícola. Fue producido por primera vez en 1951 y fue introducido comercialmente en 1958. Actualmente no se reporta uso o producción de esta sustancia y en varios países se encuentra prohibida su venta y uso (Stockholm Convention Secretariat, 2017).

#### **Éter de decabromodifenilo, decaBDE**

La mezcla comercial consta en primer lugar del congénere totalmente bromado de decaBDE en un rango de concentración de 77,4-98%, y pequeñas cantidades de los congéneres de nonaBDE (0,3-21,8%) y octaBDE (0-0,04%). El decaBDE es altamente persistente, tiene un potencial elevado de bioacumulación y biomagnificación en la red alimentaria, como también a ser transportado por largo alcance. Se han reportado efectos adversos para organismos del suelo, aves, peces, ranas, ratas, ratones y humanos. El decaBDE es utilizado como un aditivo retardante de llama y tiene una variedad de aplicaciones incluyendo plásticos/polímeros/compuestos, textiles, adhesivos, selladores, recubrimientos y tintas. Los contenedores de plástico de decaBDE se utilizan en la carcasa de computadoras, alambres y cables, tuberías y alfombras. Comercialmente el pico consumo de decaBDE se alcanzó

a principios de los 2000, pero la mezcla comercial de decaBDE es usada extensivamente en todo el mundo (Stockholm Convention Secretariat, 2017).

### **Hexabromodifenilo**

El hexabromodifenilo pertenece al grupo de los bifenilos polibromados, los cuales son hidrocarburos bromados formados por la sustitución de hidrógenos por bromo. Este químico es altamente persistente en el medio ambiente, altamente bioacumulable y tiene un fuerte potencial para el transporte ambiental de largo alcance. Está clasificado como un posible carcinógeno humano y tiene otros efectos tóxicos. El hexabromodifenilo es un químico industrial que ha sido usado como retardante de llama, principalmente en la década de 1970. De acuerdo con la información disponible, el hexabromobifenilo no es muy usado o producido en la mayoría de los países debido a restricciones bajo regulaciones nacionales e internacionales (Stockholm Convention Secretariat, 2017).

### **Hexabromociclododecano**

Comercialmente el hexabromociclododecano se encuentra disponible como una sustancia sólida blanca. Su fórmula estructural es un anillo cíclico con átomos de bromo. El HBCD tiene un fuerte potencial para bioacumularse y biomagnificarse. Es persistente en el medio ambiente, y tiene potencial para el transporte de largo alcance, es muy tóxico para los organismos acuáticos. Es particularmente nocivo para los humanos, se observó toxicidad neuroendocrina y en el desarrollo (Stockholm Convention Secretariat, 2017).

### **Lindano**

El lindano es persistente, se bioacumula fácilmente en la cadena alimenticia y se bioconcentra rápidamente. Existe evidencia para el transporte atmosférico de largo alcance y los efectos tóxicos (Inmunotóxico, efectos reproductivos y de desarrollo) en animales de laboratorio y organismos acuáticos. El lindano ha sido usado como un insecticida de amplio espectro para tratamiento de suelos y semillas, aplicaciones foliares, tratamiento de árboles y madera y contra ectoparásitos en aplicaciones veterinarias y humanas. La producción de lindano ha decrecido rápidamente en los últimos años, debido a regulaciones en muchos países. Sin embargo, pocos países lo producen (Stockholm Convention Secretariat, 2017).

### **Pentaclorobenceno (PeCB)**

El PeCB pertenece a un grupo de clorobenzenos que se caracterizan por tener un anillo aromático en el cual los átomos de hidrógeno son sustituidos por uno o más cloros. El PeCB es persistente en el medio ambiente, altamente bioacumulable y tiene un potencial para el transporte medio ambiental de largo alcance. Es moderadamente tóxico para los humanos y muy tóxico para los organismos acuáticos. Antiguamente, el PeCB fue usado en productos PCB, en portadores de colorantes, como fungicida y retardante de llama. Todavía es usado como compuesto intermediario, también es producido de manera no intencional durante la combustión, procesos térmicos e industriales, y presente

bajo la forma de impurezas, en productos como solventes o pesticidas (Stockholm Convention Secretariat, 2017).

### **Pentaclorofenol, sus sales y ésteres**

El pentaclorofenol puede ser encontrado en dos formas: como PCPh propiamente o como la sal sódica del PCPh que es altamente soluble en agua. El PCPh se ha detectado en la sangre, fluido seminal, leche materna y tejidos adiposos en humanos. El PCPh es probablemente el resultado del transporte ambiental de largo alcance. Fue usado como herbicida, insecticida, fungicida, alguicida, desinfectante y como un ingrediente en pintura. Algunas aplicaciones están en semillas, cuero, preservación de madera, Su primera producción fu en la década de 1930. es los contaminantes más importantes. La mayor de vcontaminantes incluidos otros fenoles policlorados, dioxinas policloradas y furanos policlorados (Stockholm Convention Secretariat, 2017).

### **Ácido perfluorooctano sulfónico, sus sales y fluoruro perfluorooctano sulfonilo.**

El PFOS es un anión completamente fluorado que es usado comúnmente como sal o incorporado en polímeros largos. El PFOS y sus miembros están estrechamente relacionados de la gran familia de sustancias de perfluoroalquil sulfonato. El PFOS es extremadamente persistente y tiene sustanciales bioacumulaciones y propiedades biomagnificantes, aunque no sigue el patrón clásico de otros COP al dividirse en tejidos grasos, sino que se une a proteínas en la sangre y el hígado. Tiene capacidad de transporte a larga distancia y también cumple los criterios de toxicidad del Convenio de Estocolmo. El PFOS se produce intencionalmente y es un producto de degradación no intencional de sustancias químicas antropogénicas relacionadas. El uso intencional actual de PFOS es general e incluye: piezas eléctricas y electrónicas, espuma contra incendios, imágenes fotográficas, fluidos hidráulicos y textiles. PFOS todavía se produce en varios países (Stockholm Convention Secretariat, 2017).

### **Naftalenos policlorados**

Los PCN son mezclas de má de 75 congéneres de naftaleno policlorados más subproductos y, a menudo, se describen por la fracción total de cloro. Mientras que algunos PCN pueden descomponerse por la luz del sol y, a bajas velocidades, por ciertos microorganismos, muchos PCN persisten en el medio ambiente. La bioacumulación se confirma para tetra- a hepta-CN. La exposición crónica aumenta el riesgo de enfermedad hepática. Los PCN son revestimientos aislantes efectivos para cables eléctricos. Otros se han utilizado como conservantes de madera, como aditivos de caucho y plástico, para dieléctricos de condensadores y en lubricantes. Hasta la fecha, se supone que ha terminado la producción intencional de PCN. los PCN se generan involuntariamente durante procesos industriales a alta temperatura en presencia de cloro (Stockholm Convention Secretariat, 2017).

### **Parafinas cloradas de cadena corta (SCCP)**

Las parafinas cloradas (CP) son mezclas complejas de ciertos compuestos orgánicos que contienen cloruro: n-alcanos policlorados. El grado de cloración de los CP puede variar entre 30 y 70% en peso. Las SCCP son

suficientemente persistentes en el aire para que ocurra un transporte a larga distancia y parecen ser hidrolíticamente estables. Muchas SCCP pueden acumularse en biota. Se concluye que es probable que las SCCP, como resultado de su transporte ambiental a gran distancia, tengan efectos adversos significativos para el medio ambiente y la salud humana. Las SCCP se pueden usar como plastificante en caucho, pinturas, adhesivos, retardantes de llama para plásticos y como lubricante de presión extrema en fluidos para trabajo de metales. Las parafinas cloradas se producen por cloración de fracciones de parafina de cadena recta. La longitud de la cadena de carbonos de las parafinas cloradas comerciales generalmente está entre 10 y 30 átomos de carbono. Parafinas cloradas de cadena corta se encuentran entre C10 y C13. La producción de PCCC ha disminuido a nivel mundial ya que las jurisdicciones han establecido medidas de control (Stockholm Convention Secretariat, 2017).

### **Endosulfán y sus isómeros relacionados**

El endosulfán se presenta como dos isómeros: alfa y beta endosulfán. Ambos son biológicamente activos. El endosulfán técnico (CAS No: 115-29-7) es una mezcla de los dos isómeros junto con pequeñas cantidades de impurezas. El endosulfán es persistente en la atmósfera, los sedimentos y el agua. El endosulfán se bioacumula y tiene el potencial de transporte a larga distancia. El endosulfán es tóxico para los humanos y se ha demostrado que tiene efectos adversos en una gran variedad de organismos acuáticos y terrestres. El uso del endosulfán está prohibido o será eliminado en 60 países que, en conjunto, representan el 45 por ciento del uso mundial actual. El endosulfán es un insecticida que se usa desde la década de 1950 para controlar las plagas de los cultivos, las moscas tsetse y los ectoparásitos del ganado y como conservante de la madera. Como insecticida de amplio espectro, el endosulfán se utiliza actualmente para controlar una amplia gama de plagas en una variedad de cultivos, incluidos el café, el algodón, el arroz, el sorgo y la soja (Stockholm Convention Secretariat, 2017).

### **Éter de tetrabromodifenilo y éter de pentabromodifenilo**

El éter de tetrabromodifenilo y el éter de pentabromodifenilo son los principales componentes del éter de pentabromodifenilo comercial. Pertenecen a un grupo de sustancias químicas conocidas como "polibromodifenil éteres" (PBDE). La mezcla comercial de pentaBDE es altamente persistente en el medio ambiente, bioacumulativa y tiene un potencial para el transporte ambiental a largo plazo (se ha detectado en humanos en todas las regiones). Hay evidencia de sus efectos tóxicos en la vida silvestre, incluidos los mamíferos. Los éteres de polibromodifenilo, incluidos los tetra, penta, hexa y heptaBDE, inhiben o suprimen la combustión en materiales orgánicos y, por lo tanto, se utilizan como retardantes de llama aditivos. La producción de tetra y pentaBDE ha cesado en ciertas regiones del mundo, mientras que no se informa producción de hexa- y heptaBDE (Stockholm Convention Secretariat, 2017).



## 7 DESARROLLO

A continuación, se presenta la matriz de comparación donde se analiza cada categoría de acuerdo a la información más relevante que presentan los documentos de los planes de implementación. Se encuentran casillas con aspectos que solo aparecen en uno de los documentos por categoría o que se presentan de manera más breve en un documento que en el otro.

### 7.1 Comparación de los Planes nacionales de implementación del convenio de Estocolmo (NIP/PNI) de Colombia. Versiones 2010 y 2017.

Categoría	NIP 2010	NIP 2017	ANÁLISIS
<p><b>Contexto nacional</b>            “En este capítulo se presenta el perfil general del país, sus características físicas, demográficas, políticas y económicas, con el fin de facilitar la comprensión de los capítulos siguientes, en el marco de las características de Colombia” (PNI, 2017).</p>	<p><b>Población:</b> 45.508.205  <b>Superficie:</b> 2.070.362 Km<sup>2</sup>  <b>División político-administrativa:</b>            32 Departamentos            1120 municipios            4 Distritos: Distrito capital de Bogotá; distrito turístico, cultural e histórico de santa Marta, distrito turístico y cultural de Cartagena; distrito especial, industrial y portuario de Barranquilla.  <b>Regiones naturales:</b>            Región insular            Región caribe</p>	<p><b>Población:</b> 49.291.609  <b>Superficie:</b> 2.070.408 Km<sup>2</sup>  <b>División político-administrativa:</b>            32 Departamentos            1101 Municipios            5 Distritos: Distrito capital de Bogotá; distrito turístico y cultural de Cartagena de Indias; distrito turístico, cultural e histórico de Santa Marta; distrito especial, industrial y portuario de Barranquilla; distrito especial, industrial, portuario, biodiverso y ecoturístico de Buenaventura.  <b>Regiones geográficas</b></p>	<p>Se observa un incremento notable de la población, una diferencia de 19 municipios entre los dos documentos y la inclusión de Buenaventura como distrito especial. Las regiones no tienen ninguna diferencia.</p> <p>En cuanto a la economía en el PNI del 2010 hay una descripción de las regiones económicas, sectorizando los departamentos de acuerdo a sus capacidades económicas, lo anterior junto con la mención de los principales corredores industriales</p>

	<p>Región de la Orinoquía Región del pacífico Región andina Región de la Amazonía</p> <p><b>Regiones económicas:</b> Departamentos industrializados Departamentos con economías en crecimiento Departamentos con economías basadas en el sector primario Departamentos con economías fundamentadas en el agro y la minería Departamentos con bajo nivel de desarrollo económico</p> <p><b>Economía:</b> Para el año 2009 el producto interno bruto del país tuvo un crecimiento del 0.36% con respecto al año 2008.</p> <p><b>Medio ambiente y Recursos naturales:</b> Sistema nacional ambiental. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial Departamento nacional de planeación Corporaciones autónomas regionales Corporaciones de desarrollo</p>	<p>Región insular Región andina Región caribe Región pacífica Región Orinoquía Región Amazonía</p> <p><b>Economía:</b> En el año 2015 el producto interno bruto nacional presentó un crecimiento de 3.1% respecto al año 2014.</p> <p>Sector minero-energético Sector agropecuario Sector manufacturero y construcción Sector transporte</p> <p><b>Biodiversidad:</b> primer país en diversidad de aves y orquídeas; el segundo en plantas, anfibios mariposas y peces dulceacuícolas; el tercero en palmas y reptiles y el cuarto en mamíferos.</p> <p><b>Zonificación hidrográfica y climática:</b> 5 macrocuencas Magdalena, Cauca, Caribe, Orinoco, Amazonas y Pacífico</p>	<p>está enmarcado en dar una visión de global de las características de Colombia para ese momento. Centrado en el PIB, se informó el aumento de este con respecto al año 2008 mencionando la cifra de 281.367.310 millones de pesos y las contribuciones de los diferentes sectores económicos del país. En el documento del PNI del 2017 también se menciona el aumento del PIB del año 2015 con respecto al 2014. Este documento realiza una descripción muy clara de los sectores que aportan al PIB.</p> <p>En lo relativo a medio ambiente, el PNI del 2010 hace una breve anotación sobre la riqueza que tiene el país en materia de recursos. También menciona que para la atención de este tema utilizando la ley 99 de 1993 se creó el sistema nacional ambiental (SINA) que es definido como “el conjunto de orientaciones, normas, actividades, recursos programas e instituciones</p>
--	---	---	---



	<p>sostenible</p> <p>Autoridades ambientales urbanas</p> <p>Institutos de investigación</p> <p>Entes de control</p>		<p>que permiten la puesta en marcha de los principios generales ambientales contenidos en la constitución política de Colombia y la ley 99 de 1993” (PNI, 2010). Por el contrario, el PNI de 2017 solo relaciona la riqueza del país en biodiversidad y en fuentes hídricas.</p>
<p><b>Marco institucional, regulatorio y de política</b></p>	<p><b>POLÍTICAS AMBIENTALES</b></p> <p>Política para la gestión integral de residuos.</p> <p>Política de producción más limpia (1997).</p> <p>Política para el uso y manejo de plaguicidas.</p> <p>Política ambiental para la gestión de residuos y desechos peligrosos (2005).</p>	<p><b>POLÍTICAS AMBIENTALES</b></p> <p>Política para la gestión integrada residuos sólidos (1998).</p> <p>Política para la producción más limpia (1997).</p> <p>Lineamientos de política ambiental para el uso y manejo de plaguicidas.</p> <p>Política para la gestión integral de residuos peligrosos (2005).</p> <p>Política de producción y consumo sostenible (2010).</p> <p>Política para la gestión integral del recurso hídrico (2010).</p> <p>Política de prevención y control de la contaminación atmosférica (2010).</p> <p>Política para la gestión sostenible del suelo (2016).</p>	<p>De acuerdo con la información suministrada en ambos documentos se puede declarar que para el año 2010 se realizó una revisión general de la normatividad que se consideró relevante en ese momento para la gestión adecuada de los COP, esta normatividad está representada en los cinco ítems que se establecieron en cuanto a políticas, convenios internacionales y normativa para los COP. El documento del 2017 muestra de forma más clara y en primer lugar los cambios realizados a nivel administrativo de los actores involucrados en la gestión de los COP.</p>

		Política nacional para la gestión integral de residuos sólidos.	Al observar los diferentes ítems que se establecieron para esta categoría es notorio el avance o el aumento de políticas que ha surgido a raíz de la actualización del PNI, esto demuestra un mayor control y vigilancia para este tipo de sustancias, que se traduce en mayor seguridad para la población frente a los peligros de los COP. Un aspecto importante del documento del 2017 es el diagrama de los principales actores involucrados en la gestión integral de COP en Colombia ( <b>figura 16</b> ), pues muestra de manera clara como se agrupan y de qué manera se relacionan estos actores ceñidos a las acciones del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Sin embargo, en el documento del 2010 se desarrolla este tema en un apartado denominado “Marco institucional para la gestión de los COP en Colombia” donde se
	<b>POLÍTICAS EN SALUD</b> Plan de vigilancia epidemiológica. Protocolo de vigilancia de las intoxicaciones accidentes o emergencias por sustancias químicas-plaguicidas (xenobióticos).	<b>POLÍTICAS EN SALUD</b> Políticas de salud pública. Plan decenal de salud pública (2012-2021). Plan decenal para el control del cáncer (2012-2021).	
	<b>POLÍTICAS AGROPECUARIAS</b> Política nacional de sanidad agropecuaria e inocuidad de alimentos para el sistema de medidas sanitarias y fitosanitarias (2005). Política sanitaria y de inocuidad de las cadenas de la carne bovina y leche (2005). Política nacional de sanidad e inocuidad para la cadena porcícola (2007). Política nacional de sanidad e inocuidad para la cadena avícola	<b>POLÍTICAS AGROPECUARIAS</b> Política nacional de sanidad agropecuaria e inocuidad de alimentos para el sistema de medidas sanitarias y fitosanitarias (2005). Política sanitaria y de inocuidad de las cadenas de la carne bovina y leche (2005). Política nacional de sanidad e inocuidad para la cadena porcícola (2007). Política nacional de sanidad e inocuidad para la cadena avícola (2007). Política nacional fitosanitaria y de	

	<p>(2007). Política nacional fitosanitaria y de inocuidad para las cadenas de frutas y otros vegetales (2008).</p>	<p>inocuidad para las cadenas de frutas y otros vegetales (2008). Política agropecuaria para el cuatrienio (2014-2018).</p>	<p>presentan lo actores involucrados y sus funciones principales respecto a los COP y al cuidado del medio ambiente. Es notable resaltar que el documento del 2017 presenta de manera más somera esta categoría a pesar de que este documento cuenta con más recursos de gestión expuestos.</p>
	<p><b>CONVENIOS INTERNACIONALES SUSCRITOS POR COLOMBIA RELACIONADOS CON LOS COP.</b> Convenio de Basilea. Convenio de Rotterdam. Acuerdo de integración subregional andino/Acuerdo de Cartagena (1969). Decisión andina 436 de 1998. Resolución 630 de 2002- Manual técnico andino para el registro y control de plaguicidas químicos de uso agrícola.</p>	<p><b>CONVENIOS INTERNACIONALES SUSCRITOS POR COLOMBIA RELACIONADOS CON LOS COP.</b> Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes (Ley 1196 de 2008). Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación (Ley 253 de 1996). Convenio de Rotterdam para la aplicación del procedimiento de consentimiento fundamentado previo a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional (Ley 1159 de 2007). Acuerdo de Cartagena (1969). Decisión Andina 804 de 2015. Por la cual se modificó la decisión 436/98.</p>	<p>En el marco de los convenios internacionales suscritos y ratificados por Colombia se presentan los mismos en ambos documentos, solo que algunos han sido modificados como es el caso de la Decisión Andina 436 de 1998. Por lo que respecta al marco normativo, ambos documentos parten de la Constitución política de Colombia, y en seguida despliegan las leyes y decretos que atañen a la protección del ambiente y la salud de manera general, de la misma manera presentan la normatividad</p>

	<p><b>MARCO NORMATIVO RELACIONADO CON LOS COP EN COLOMBIA</b></p> <p>Normatividad básica relacionada con COP.</p> <p>Normatividad específica relacionada con COP.</p> <p>Resoluciones expedidas por las carteras de ambiente salud y agricultura relacionadas con los COP.</p>	<p><b>MARCO NORMATIVO RELACIONADO CON LOS COP EN COLOMBIA</b></p> <p>Normativa general que contribuye con la gestión integral de COP.</p> <p>Normativa específica que contribuye con la gestión integral de COP.</p> <p>Principales medidas adoptadas por Colombia para el manejo ambientalmente seguro de residuos o desechos peligrosos (incluidos los COP).</p>	<p>que es específica para los COP con las diferentes resoluciones que han Promulgado los diferentes ministerios para estas sustancias. En el documento del 2017 se observa claramente que existe normatividad específica para 12 COP dentro de los cuales se encuentran la mayoría de los que hacen parte de la docena sucia, las demás sustancias no cuentan con reglamentación específica, pero están bajo el amparo de la Ley 1196 de 2008.</p>
<p><b>Situación del país frente a los COP.</b></p>	<p><b>Línea base del país frente a los COP.</b></p> <p>La problemática generada por el uso indiscriminado de los COP durante décadas se centra en los siguientes aspectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Existencias de plaguicidas obsoletos en diferentes partes del país.</li> <li>• Zonas contaminadas por el enterramiento de plaguicidas.</li> <li>• Uso y almacenamiento de PCB,</li> </ul>	<p><b>Situación actual de los COP en Colombia.</b></p> <p>En aras de conocer el estado actual de las acciones propuestas en el marco del PNI 2010, se indagó con los diferentes actores responsables de su implementación sobre los avances logrados en los 5 primeros años de ejecución de este plan nacional.</p> <p>Se presentan cada uno de los 4 grupos de COP, los principales desarrollos o avances en la implementación del plan inicial (2010-2016), así como la actualización o</p>	<p>Basta con observar la extensión de este apartado en la columna del NIP 2017 para ver que se han hecho varios adelantos en la gestión de los COP en el país. Se ha pasado de una situación en la que apenas se podían definir algunas problemáticas frente a los COP, a un momento en el que se está trabajando activamente por cumplir la meta de disminuir en lo posible las emisiones y la exposición de las personas y el medio ambiente</p>

	<p>especialmente en el sector eléctrico.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Carencia de instalaciones apropiadas para eliminación de COP.</li> <li>• Liberación no intencionada de dioxinas y furanos en algunos sectores productivos sin la suficiente capacidad nacional para monitorearlos y controlarlos.</li> <li>• Dificultades para acceder al uso de tecnologías menos contaminantes.</li> <li>• El control y seguimiento a la gestión de sustancias químicas y residuos peligrosos es insuficiente y se encuentra dispersa a nivel institucional.</li> </ul>	<p>elaboración de los inventarios correspondientes a cada uno de ellos en el marco del proyecto de revisión y actualización del PNI (2015-2017).</p> <p>También se presentan los resultados de las siguientes acciones adelantadas durante el año 2016 en materia de inventarios de COP, como insumo fundamental para la actualización del PNI:</p> <p>Actualización del inventario de plaguicidas COP</p> <p>Actualización del inventario de PCB</p> <p>Re-cálculo del inventario de línea base de dioxinas y furanos (2002) con el kit de herramientas 2013, dado que la actualización del mismo se tiene programada para iniciar en el año 2018.</p> <p>Elaboración de un inventario inicial para COP de uso industrial como primera aproximación a su situación en Colombia.</p>	<p>a los COP.</p> <p>Se presentan varios adelantos en cuanto a la elaboración de inventarios de los cuatro grupos de clasificación de las sustancias COP (Plaguicidas; PCB; COP no intencionales; COP de uso industrial).</p> <p>Los plaguicidas presentan un avance en cuanto a legislación pues para los 10 para los que tienen legislación específica las concentraciones existentes y el comercio han disminuido llegando a reducir las existencias al mínimo. Aun no se han gestionado los sitios contaminados, pero han sido delimitados para su próxima intervención.</p> <p>La situación actual de los plaguicidas esta permeada por un proceso de transición al uso de sustancias alternativas, esto relacionado con las buenas prácticas agrícolas y los</p>
--	---	--	--

	<p><b>Plaguicidas</b></p> <p>La problemática del país frente a los plaguicidas COP se encuentra en gestionar los sitios contaminados ya identificados y profundizar en el conocimiento de aquellos sobre los que hay sospecha, mediante estudios de diagnóstico que cuenten con suficiente rigurosidad técnico-científica que permitan definir o aclarar la situación de cada sitio en particular.</p>	<p><b>Plaguicidas COP</b></p> <p>Colombia cuenta con normativa explícita para 10 de las 17 sustancias catalogadas como plaguicidas.</p> <p>Colombia continúa adelantando esfuerzos para para el mejoramiento y actualización del registro para fabricación o comercialización de plaguicidas químicos de uso agrícola.</p> <p>Fortalecimiento del sistema de medidas sanitarias y fitosanitarias (MSF) que pretende garantizar la sanidad agropecuaria e inocuidad de alimentos en el país. Esto demuestra un avance pues se trabaja con una noción de sistema y no de autoridades dispersas en materia de sanidad e inocuidad.</p> <p>Se orienta el uso de buenas prácticas agrícolas (BPA) para prevenir y minimizar riesgos a la salud y al ambiente.</p> <p>Las autoridades de control aduanero no cuentan con la capacidad técnica y operativa para realizar la descripción</p>	<p>acuerdos de producción más limpia, sin embargo, existe un problema en el mercado y es el ingreso ilegal de plaguicidas COP, el cual no se ha podido controlar y es el responsable de la presencia de plaguicidas como el lindano y el endosulfán después de la detención de su producción y la posterior regulación por el convenio de Estocolmo.</p> <p>Se puede decir que los PCB son las sustancias COP en la que más se ha trabajado en los últimos diez años, pues se han venido adelantando estrategias como actualización de inventarios, capacitación de trabajadores y empresas del sector eléctrico. En ambos documentos se ve claramente una secuencia en el trabajo que se ha desarrollado para estas sustancias, se resaltan las herramientas creadas para informar los avances y para la manipulación de elementos contaminados, como también la existencia de empresas</p>
--	--	--	--

		<p>técnica de la totalidad de las mercancías aprehendidas por contrabando. A pesar de los esfuerzos adelantados por entidades de control no se han podido consolidar aún cifras o estimaciones que permitan aproximarse a la magnitud de la problemática de comercio ilegal o contrabando de plaguicidas COP en Colombia.</p> <p>Si bien buena parte de los plaguicidas COP en Colombia, han sido prohibidos de manera explícita desde años atrás por las autoridades sanitarias y de salud, se analizaron las estadísticas oficiales de Colombia en relación a producción, importación y exportación de estas sustancias para verificar la congruencia con estas medidas.</p> <p>Al indagar recientemente sobre los avances en la gestión de los dos sitios contaminados (Barranquilla y El Copey), se encuentra que los predios fueron delimitados y señalizados para tratar de evitar el acceso a los mismos. En este sentido, este aspecto debe ser abordado por el país, en el marco</p>	<p>encargadas del manejo de los residuos contaminados.</p> <p>Otro aspecto a resaltar son las metas que se propone cumplir el gobierno para la total eliminación de estas sustancias al año 2028, se observa claramente una metodología y una proyección de los avances que se deben tener cada cuatro años para alcanzar el objetivo. Es importante que se trabaje de manera ardua y juiciosa para llegar a un avance tan significativo como la erradicación de los PCB.</p> <p>Con respecto a los COP no intencionales, es notoria la relevancia que se le da a las Dioxinas y furanos, tanto así que en el NIP 2010 así se denominó el apartado. En el documento del 2017 (Barranquilla y El Copey), se encuentra que claramente se manifiesta que el plan de acciones específico para COP no intencionales no ha sido implementado, sin embargo, en el marco de las dioxinas y furanos se ha</p>
--	--	---	--

		<p>de los esfuerzos que se están adelantando en materia de lineamientos de política para la gestión de sitios contaminados y pasivos ambientales.</p> <p>El lindano y el endosulfán cuya entrada en vigor como COP a nivel internacional se dio en los años 2009 y 2011 respectivamente, también contaban de manera previa con una prohibición en Colombia para su producción, uso y comercialización desde los años 1997 y 2001. Para el caso del lindano se registraron exportaciones en los años 1998 (1,83 toneladas), 2005 (2,33 toneladas) y 2007 (2,02 toneladas), las cifras oficiales revelan que su comercialización formal se detuvo un par de años atrás a la entrada en vigor de su regulación a nivel internacional en 2009.</p> <p>De manera similar para el caso del endosulfán, se registraron para el año 2002 importaciones de 238,6 toneladas y exportaciones de 1.136,81 toneladas aproximadamente, infiriéndose que, según las cifras oficiales, Colombia detuvo su producción y comercialización legal de esta</p>	<p>adelantado un poco con la realización de un nuevo cálculo de las existencias del primer inventario utilizando el kit de herramientas del Convenio de Estocolmo del año 2013.</p> <p>A pesar de que las cifras variaron se obtuvieron las mismas conclusiones en las que los sectores que más aportan a la emisión de estas sustancias son las quemas incontroladas de biomasa y la incineración de residuos.</p> <p>El PNI del 2010 finaliza esta sección con una evaluación económica del cumplimiento del convenio donde se analizan las situaciones de acatar o no acatar el convenio, donde se revisaron las ventajas arancelarias que conlleva la implementación de este, razón por la cual se evidencia un beneficio para el país al ratificar el Convenio de Estocolmo.</p> <p>Los COP de uso industrial no se</p>
--	--	---	--



		sustancia a partir del año 2002, la cual luego sería regulada en el marco del Convenio de Estocolmo a partir del año 2011.	tuvieron en cuenta en el documento del 2010 dado a su ingreso reciente a los anexos del convenio, no obstante, las acciones que se llevaron a cabo en la actualización del PNI reflejan que es necesario hacer un estudio más detallado de las existencias de estas sustancias, tal vez procediendo de la misma forma que se ha hecho con los PCB, para tener una relación entre entidades reguladoras, empresas fabricantes y consumidores, de manera que su gestión sea la más adecuada y efectiva.
	<p><b>Bifenilos policlorados (PCB).</b></p> <p>En Colombia se ha venido trabajando este tema desde 1997 con el proyecto CERI (Canadian energy research institute/ Instituto Canadiense de Investigaciones en Energía). Se hicieron capacitaciones a los diferentes sectores en el tema de los PCB y en 1999 el Ministerio del Medio Ambiente elaboró el “Manual de manejo de PCB para Colombia”.</p> <p>En el 2002, se realizó el diseño e instalación en el IDEAM de la base de datos para el Registro Nacional de PCB, tanto para autoridades ambientales como para poseedores.</p> <p>En el año 2005, se realizó el Inventario Preliminar de compuestos Bifenilos policlorados-PCB- existentes en</p>	<p><b>Bifenilos policlorados (PCB).</b></p> <p><b>Avances en la implementación del plan de acción de PCB</b></p> <p>a) Fortalecimiento del marco legal administrativo y regulatorio para la buena gestión de los PCB</p> <p>b) Desarrollo de la capacidad nacional para el manejo ambientalmente seguro de PCB.</p> <p>Capacitación y entrenamiento para fortalecer la capacidad técnica.</p> <p>Toma de muestras y análisis para determinación de PCB.</p> <p>Herramientas para facilitar el manejo ambientalmente seguro de PCB.</p> <p>c) Manejo ambientalmente seguro y eliminación de PCB a través del proyecto piloto de demostración.</p> <p><b>Actualización del inventario nacional de</b></p>	<p>En cuanto a los aspectos de vital importancia que se adelanten los procesos legislativos para las sustancias que aún no cuentan con legislación específica, ya que estas brechas legales no permiten que se detengan los usos o la comercialización.</p> <p>En lo concerniente a las exenciones, es importante conocer el</p>

	<p>Colombia, cuyos resultados más importantes son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• De las 926 toneladas reportadas, un 61.4% se encuentra en el sector eléctrico evidenciando que es el sector que más ha trabajado en el tema de identificación, manejo y eliminación de PCB.</li> <li>• Existen aproximadamente cantidades iguales de PCB en uso y en desuso.</li> <li>• La zona cundiboyacense de mayor progreso industrial y económico concentra la mayor cantidad de PCB inventariada.</li> </ul>	<p><b>PCB.</b> Se clasificaron en cuatro grupos los elementos contaminados con PCB de acuerdo a su concentración:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Equipos fabricados con fluidos de PCB y desechos contaminados con PCB. (&gt;100.000 ppm)</li> <li>❖ Equipos y desechos que contienen o pueden contener PCB. (≥500 ppm)</li> <li>❖ Equipos y desechos contaminados con PCB. (≥50 ppm)</li> <li>❖ Equipos y desechos no PCB. (&lt;50 ppm)</li> </ul> <p>Para el año 2015 el inventario nacional de PCB contaba con 1097 registros que reportan la existencia de 430.729 equipos.</p> <p><b>Marcado</b> Este indicador permite conocer el avance del cumplimiento de las metas cuatrienales, que indican que en el 2016 se tenía el 30% de equipos marcados, para el 2020 se tendrá el 60% y para el 2024 el 100%.</p> <p><b>Retiro de uso</b> Este indicador permite conocer el avance de cumplimiento de la meta de retiro de uso de equipos contaminados con PCB con</p>	<p>mecanismo, pero no se debe tener en cuenta la posibilidad de optar por una, ya que el ideal de los esfuerzos realizados a nivel mundial es encontrar sustancias inocuas que reemplacen los COP y no es aceptable bajo ninguna circunstancia producir estas sustancias mientras se sabe que se pueden encontrar nuevos caminos.</p> <p>El último aspecto resaltado en ese apartado que hace referencia al centro de información sobre los COP, es una deuda que tiene el país desde el primer plan pues la investigación ha sido muy sectorizada y los resultados no están disponibles de manera accesible a los investigadores y a la comunidad en general.</p>
--	---	---	--

		<p>plazo máximo den el año 2025. Esta meta está relacionada con los elementos del primer grupo.</p> <p>En el año 2015 fueron reportados 1748 de los tres primeros grupos de los cuales 635 unidades son equipos desechados.</p> <p>Eliminación</p> <p>Este indicador permite conocer los avances en la meta de eliminación de equipos y desechos contaminados con PCB. Después de que se cumpla la meta de marcado se debe asegurar la eliminación de la totalidad de existencias para el año 2028. En el año 2015 se reportaron 182.221,7 toneladas equivalentes a equipos en uso, desuso y desechados, de los cuales solo el 0,2% se ha eliminado.</p>	
	<p><b>Dioxinas y furanos</b></p> <p>En 2004 el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial llevó a cabo el inventario nacional de liberaciones de dioxinas y furanos.</p> <p>Las categorías evaluadas en el inventario fueron:</p>	<p><b>COP no intencionales</b></p> <p><b>Avance en la implementación del plan de acción de COP no intencionales.</b></p> <p>Proyecto: “Reducción de las liberaciones de COP no intencionales y mercurio provenientes de la gestión de residuos hospitalarios, procesamiento de chatarra metálica y quema de biomasa” financiado</p>	

	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Incineración de desechos.</li> <li>2. Producción de metales ferrosos y no ferrosos.</li> <li>3. Generación de energía y calefacción.</li> <li>4. Producción de minerales.</li> <li>5. Transportes.</li> <li>6. Procesos de combustión no controlados.</li> <li>7. Producción y uso de sustancias químicas y bienes de consumo.</li> <li>8. Varios.</li> <li>9. Evacuación/terraplenes.</li> <li>10. Posibles puntos calientes.</li> </ol> <p>Los principales hallazgos del inventario fueron:</p> <p>Las mayores liberaciones se presentan por emisiones atmosféricas (61%).</p> <p>Entre las fuentes que más emiten dioxinas y furanos al ambiente se tiene en primer lugar la categoría 6, seguido de la categoría 1 y en tercer lugar la categoría 3.</p> <p>EL vector residuos es el de más</p>	<p>por el GEF y apoyado por el PNUD. Para el 2018 se pretende actualizar el inventario de COP no intencionales.</p> <p>El plan de acción específico para COP no intencional formulado en el 2010 no ha sido implementado.</p> <p>La normativa para el control de emisiones de dioxinas y furanos ha establecido los estándares admisibles.</p> <p><b>Re-cálculo del inventario de línea base para dioxinas y furanos con el kit de herramientas 2013.</b></p> <p>Se calculará el inventario de dioxinas y furanos de 2002 utilizando el kit de herramientas del 2013 del PNUMA con el fin de hacer correcciones metodológicas para que los resultados sean comparables con el inventario que inicia en el 2018.</p> <p>Con el uso del kit de herramientas del 2013 las liberaciones totales disminuyeron en un 26,15%, esto debido a que algunas fuentes de liberación aumentaron y otras disminuyeron.</p> <p>El grupo de fuentes de emisión que mayor contribución representa fue el de procesos</p>	
--	---	--	--

	<p>importancia después del aire pues las sustancias quedan presentes en las cenizas de la combustión en concentraciones mayores a las que se liberan en la atmósfera.</p>	<p>de quema a cielo abierto seguido por la incineración de desechos.</p>	
	<p><b>Evaluación económica del cumplimiento del convenio.</b></p> <p>Dado que con el incumplimiento del Convenio de Estocolmo el país perdería las ventajas arancelarias, se considera que esos ahorros anuales en aranceles hacen parte de los beneficios del convenio. Por lo tanto se suman los beneficios netos de la reducción de COP con el beneficio arancelario de la Unión europea.</p>	<p><b>COP de uso industrial</b></p> <p><b>Avances en la implementación del plan de acción de uso industrial</b></p> <p>En los últimos años el país no presentó avances significativos en cuanto a su abordaje y conocimiento de la situación asociada a los mismos.</p> <p>En el año 2016 se adelantó un inventario inicial de COP de uso industrial.</p> <p><b>Elaboración del inventario inicial de COP de uso industrial</b></p> <p>Colombia no es ni ha sido fabricante de sustancias COP de uso industrial.</p> <p>En importaciones pueden llegar objetos contaminados o productos industriales que contengan estas sustancias.</p> <p>Se presentan resultados para pentaclorobenceno, hexabromobifenilo, hexabromociclododecano, éteres de bromo bifenilo, PFOS y sus sales y PFOSF y sus</p>	

		<p>derivados.</p> <p>Los datos son estimaciones de las partidas arancelarias que dispone el país de los elementos que por sospecha se considera que contienen COP de uso industrial.</p> <p>Se categorizo la presencia de estas sustancias en sectores como el transporte (espuma para asientos y recubrimiento), electrodomésticos (Televisores CRT), equipos de fotografía e impresión. En el país no se exige a los productos importados un contenido mínimo de las sustancias COP.</p> <p>Se deben tener en cuenta las recomendaciones de este primer inventario para realizar un segundo inventario que contenga información de primera mano aportada por los miembros de los sectores industriales involucrados con estas sustancias.</p>	
		<p><b>Aspectos a fortalecer en Colombia para mejorar el cumplimiento del Convenio de Estocolmo.</b></p> <p>Se deben armonizar las actualizaciones y desarrollos normativos que se están dando</p>	

		<p>actualmente en el país en el marco del ajuste al manual técnico andino para el registro de nuevos plaguicidas, así como la reglamentación de productos químicos industriales y esfuerzos realizados por Colombia para su ingreso a la OECD, con el fin de incluir los criterios de evaluación de moléculas dispuestos por el Convenio de Estocolmo para contaminantes orgánicos persistentes, de acuerdo con el numeral 4 del artículo 3 tanto de la Ley 1196 de 2008 como de este Convenio.</p> <p>Si bien Colombia hasta el momento no ha encontrado necesario acceder a este mecanismo de exenciones específicas, se considera pertinente aclarar con los actores involucrados en la implementación del PNI, cuál será el procedimiento a seguir en caso que se requiera aplicar a este registró para sustancias que se adicionen a futuro al Convenio.</p> <p>El país debe fortalecer la aplicación de las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales teniendo en cuenta las orientaciones generales sobre medidas</p>	
--	--	---	--

		<p>de prevención y reducción de las liberaciones de COP no intencionales brindadas por el Convenio de Estocolmo.</p> <p>Se deben fortalecer las estrategias para la identificación de sitios contaminados con COP y los mecanismos a aplicar en caso que el país decida hacer un manejo ambientalmente seguro de los mismos.</p> <p>Colombia hasta el momento, no se ha pronunciado en lo concerniente al numeral 3 del artículo 9 de la Ley 1196 de 2008 y del Convenio de Estocolmo, que indica que el país debe designar un centro nacional de coordinación para el intercambio de información relacionada con la reducción o la eliminación de la producción, utilización y liberación de contaminantes orgánicos persistentes y las alternativas a los contaminantes orgánicos persistentes, incluida la información relacionada con sus peligros y con sus costos económicos y sociales.</p>	
<b>Estrategias y acciones previstas.</b>	<p><b>Líneas estratégicas del PNA</b></p> <p>Las estrategias del PNA se dividen en</p>	<p><b>Principios rectores para los planes de acción de COP</b></p>	<p>Se aprecia la forma en que en el documento de 2010 se hicieron los</p>



	<p>dos etapas, la primera es el análisis o diagnóstico y la segunda la gestión de riesgo o administración propiamente dicha. Se presenta para la segunda etapa las siguientes líneas estratégicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prevención: Busca evitar que el factor de riesgo se presente nuevamente.</li> <li>• Eliminación: los esfuerzos se encaminan a eliminar o desactivar la sustancia que constituye o causa el riesgo.</li> <li>• Reducción: aplicable cuando no es posible eliminar totalmente la causa, por lo tanto, se debe reducir su cantidad, su peligrosidad o sus impactos negativos.</li> </ul> <p>Las acciones de corto plazo se proyectaron para el periodo 2008-2012, las de mediano plazo 2013-2017 y las de largo plazo a partir del 2018.</p>	<p>Partiendo de los resultados obtenidos del proceso de actualización o elaboración de los inventarios de COP, así como de las evaluaciones de capacidad institucional, normativa, política, de monitoreo y manejo ambientalmente seguro de COP, se estructuraron y concertaron mediante discusiones de construcción colectiva con los actores involucrados, cuatro planes de acción para los diferentes grupos de COP, que constituyen el plan nacional.</p> <p>Los principios rectores se dividen en dos grupos, el primer grupo corresponde a los principios que rigen las generalidades de la gestión de las sustancias COP y el segundo grupo rige la implementación de cada uno de los planes.</p> <p>Principios generales</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Gestión del riesgo asociado al manejo de COP y sus residuos.</li> <li>-Gestión integral de COP y sus residuos.</li> <li>-Producción y consumo sostenible.</li> <li>-Internalización de los costos ambientales.</li> </ul> <p>Principios de implementación</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Responsabilidad integral frente a los COP.</li> <li>-Responsabilidad compartida.</li> </ul>	<p>planteamientos preliminares para la elaboración de los planes de acción basados en líneas estratégicas básicas como la prevención, eliminación y reducción. Con las herramientas obtenidas del trabajo durante la implementación del primer plan se pudieron establecer nuevas directrices para plantear los nuevos planes de acción, que tienen principios generales que permiten la gestión eficiente de los COP y precios de implementación que fundamentan la metodología o el proceder de los planes de acción. Ambos documentos manejan cuatro planes de acción que a pesar de cambiar un poco la denominación su estructura es en esencia la misma o está más completa en el último documento.</p> <p>En cuanto a los nuevos lineamientos estratégicos establecidos para la implementación de los planes, se observa una complementariedad del conjunto pues cada línea estratégica</p>
--	---	--	---

		<ul style="list-style-type: none"> <li>-Consciencia e internalización.</li> <li>-Gradualidad.</li> <li>-Monitoreo colaborativo.</li> <li>-Intersectorialidad.</li> <li>-Territorialidad priorizada.</li> </ul> <p><b>Planes de acción específicos y líneas estratégicas</b></p> <p>Los planes de acción y estrategias están divididos en cuatro:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Plaguicidas COP</li> <li>2. COP no intencionales</li> <li>3. COP de uso industrial (excepto PCB)</li> <li>4. PCB.</li> </ol> <p>Esta división no corresponde a la forma en la cual el Convenio de Estocolmo clasifica las sustancias COP, se realizó con base en el uso que se le da en el país a las sustancias.</p> <p>De acuerdo a los lineamientos técnicos y a la política de gestión de riesgo se establecieron cinco líneas estratégicas para la implementación de los planes de acción.</p> <p>L1-Recopilación y divulgación de información.</p> <p>L2-Evaluación del riesgo.</p> <p>L3-Manejo del riesgo (prevención, reducción y eliminación) y promoción de alternativas.</p>	<p>aporta una acción relevante para la gestión de los COP, no están relacionados solo con acciones concretas sobre las sustancias, sino que también se presentan estrategias de prevención, capacitación, divulgación y mejoramiento que hacen que la gestión se presente de manera eficaz.</p> <p>Cada uno de los planes de acción planteados en el documento del 2017 están basados en los inventarios y demás estudios adelantados en momentos previos a la actualización del PNI. Para los plaguicidas se nota una diferencia tajante en los objetivos generales de los planes 2010 y 2017 pues para el primero los intereses estaban centrados en evitar que las existencias de plaguicidas en desechos contaminaran otros objetos o que llegaran al medio ambiente, pero para el plan actual,</p>
--	--	---	---

		<p>L4-Seguimiento - Inspección, vigilancia y control.</p> <p>L5-Instrumentos transversales para la generación y fortalecimiento de capacidades.</p>	<p>es importante crear una cultura consciente para que no se vuelvan a usar plaguicidas COP y se busque alternativas más sanas. Las estrategias establecidas en el plan de plaguicidas del 2010 son coherentes con el objetivo general y demuestran que existió interés por eliminar y manejar las existencias de estas sustancias.</p>
	<p><b>Plan de acción para plaguicidas</b></p> <p>Tiene como objetivo general: “Prevenir, reducir o eliminar las liberaciones de plaguicidas COP derivadas de existencias y desechos, para proteger la salud humana y el medio ambiente”.</p> <p>Debido a que los plaguicidas COP ya se encuentran prohibidos, es relevante trabajar en la eliminación de las existencias de estas sustancias.</p> <p>Las estrategias para los plaguicidas de acuerdo a las líneas estratégicas son:</p> <p>Prevención:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Registro, inspección, vigilancia y control.</li> <li>2. Medidas preventivas.</li> </ol> <p>Gestión del riesgo:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>3. Prevención y reducción del riesgo a la salud y al ambiente de los</li> </ol>	<p><b>Plan de acción para plaguicidas COP</b></p> <p>La actualización más reciente del inventario de plaguicidas COP informa que los actores involucrados de diversos sectores tanto públicos como privados manifestaron no poseer ni tener conocimiento de existencias actuales de plaguicidas COP; sin embargo, se evidenció una problemática relacionada con el comercio y uso ilegal de algunos de ellos. Partiendo de lo anterior se formuló el plan de acción para los plaguicidas cuyo objetivo general es “Evitar el uso de los plaguicidas COP en Colombia a través de la creación de una cultura de prevención y garantizar la eliminación segura de los plaguicidas COP incautados u obsoletos”.</p> <p>En este plan de acción participan 28 actores de diferentes entidades gubernamentales, ambientales, fiscales y de seguridad.</p>	<p>Una novedad con la que cuentan los planes actuales es la mención de los actores intersectoriales que participan en cada una de sus actividades, se relacionan entidades del gobierno, institutos nacionales, instituciones legales y de justicia e instituciones educativas.</p> <p>Otro aspecto a resaltar es que las actividades no se plantean en torno a las líneas estratégicas sino a los objetivos específicos para cada plan, no obstante, estas actividades están ligadas a una de las cinco nuevas</p>

	<p>plaguicidas COP.</p> <p>4. Inspección, vigilancia y control para la residualidad de plaguicidas COP en alimentos.</p> <p>5. Identificación y gestión ambientalmente adecuada de sitios contaminados con plaguicidas COP.</p> <p>Eliminación:</p> <p>6. Eliminación de existencias.</p>	<p>Las actividades propuestas para este plan atendiendo a los objetivos específicos son:</p> <p>Objetivo específico 1: Propiciar que, en cultivos priorizados, los usuarios actúen preventivamente, apliquen buenas prácticas y promuevan el uso de sustancias alternativas a los plaguicidas COP</p> <p>1.1. Informar y sensibilizar con un enfoque preventivo y de manera amplia a los diferentes actores involucrados, sobre los riesgos asociados a los plaguicidas COP, así como de aquellos que se encuentren propuestos para ser incluidos como COP. L1</p> <p>1.2. Implementar el programa de buenas prácticas agrícolas (BPA) en cultivos identificados como prioritarios en el país. L3</p> <p>1.3. Identificar e implementar mecanismos que permitan que los agricultores que aún contemplan el uso de algunas sustancias COP, eliminen su uso mediante la implementación de Buenas Prácticas Agrícolas o los sustituyan por productos alternativos. L3</p> <p>1.4. Fortalecer la capacidad de coordinación y colaboración intersectorial</p>	<p>líneas estratégicas.</p> <p>Debido a que en Colombia la mayoría de plaguicidas COP tienen legislación específica y los demás están regulados por la ley 1196 de 2008, las acciones del plan actual van encaminadas a reforzar más la vigilancia, registro y monitoreo de los productos químicos de uso agrícola; a seguir la implementación de los programas de buenas prácticas agrícolas y los acuerdos de producción más limpia; fortalecer los controles aduaneros para evitar la importación de estas sustancias al país. La principal diferencia del plan actual con el del 2010 es el enfoque de sensibilización para evitar el uso de los plaguicidas COP y la búsqueda de alternativas para las actividades en las que se usaban.</p> <p>Los avances del plan de acción para PCB se encuentra en el apartado de situación del país frente los COP del</p>
--	---	--	---

		<p>entre los actores involucrados. L5</p> <p>Objetivo específico 2: Eliminar de manera ambientalmente segura, en el marco de la gestión integral, las existencias de los plaguicidas COP incautados o asociados a sitios contaminados.</p> <p>2.1. Adelantar la gestión ambientalmente segura de las existencias de plaguicidas COP incautados, cumpliendo las normas nacionales e internacionales. L3</p> <p>2.2. Promover los lineamientos y mecanismos para la gestión integral de los sitios contaminados con plaguicidas COP en el país, que incluya la identificación y evaluación de riesgos asociados a los mismos. L3</p> <p>Objetivo específico 3: Fortalecer el Sistema IVC (inspección, vigilancia y control) mejorando la identificación y el monitoreo para evitar el ingreso de plaguicidas COP en los puertos y pasos fronterizos clave del país.</p> <p>3.1. Identificar y cuantificar los plaguicidas COP incautados, así como las rutas de ingreso, las regiones del país y los cultivos donde se usan. L1</p>	<p>documento del 2017 y refleja claramente los avances que se han alcanzado frente a estas sustancias, ya que se puede afirmar que han sido en las que más se ha trabajado durante los últimos años pues las metas a cumplir tienen un tiempo estimado para el 2028 donde no deben existir ningún objeto o elemento contaminado con estas sustancias. Se ha prestado gran atención al sector eléctrico por ser el más involucrado en contaminación con PCB en equipos y aceites dieléctricos que afectan a los operarios y al medio ambiente en general. El plan del 2010 para PCB ha cumplido con la mayoría de actividades propuestas y en la actualidad se está trabajando para cumplir todas las metas que se establecieron para largo plazo.</p> <p>El plan actual busca eliminar del país toda existencia de PCB y sus actividades están orientadas a</p>
--	--	---	---

		<p>3.2. Actualizar periódicamente el sistema de monitoreo de plaguicidas COP en aguas marinas y costeras del caribe y pacífico colombiano. L1</p> <p>3.3. Continuar con el fortalecimiento de los programas para la identificación de la residualidad de plaguicidas COP en alimentos según sus competencias. L1</p> <p>3.4. Desarrollar actividades que prevengan los riesgos químicos asociados a los plaguicidas COP en la producción primaria. L1</p> <p>3.5. Incorporar a los procesos de evaluación de plaguicidas adelantados en el país, los criterios establecidos en el Convenio de Estocolmo relacionados con la identificación, persistencia, bioacumulación, potencial de transporte y efectos adversos. L1</p> <p>3.6. Diseñar el esquema de la vigilancia epidemiológica ambiental en áreas o zonas del país con existencias o uso de plaguicidas COP y sus efectos en la salud, identificados a partir del monitoreo o estudios ambientales disponibles. L2</p> <p>3.7. Fortalecer los programas de</p>	<p>completar los procedimientos de marcado y de registro para tener datos reales y a partir de estos, proceder a eliminar los objetos y sustancias contaminadas.</p> <p>El plan de acción para dioxinas y furanos que en el 2017 se denominó “COP no intencionales”, no muestra un avance significativo pues lo único que se ha logrado es hacer un nuevo cálculo de los inventarios de dioxinas y furanos del año 2002 utilizando la herramienta que propuso el PNUMA en el 2013, estos resultados ratificaron las fuentes principales de emisión de estos compuestos, siendo la más importante la incineración de residuos y biomasa. Del primer plan no se cumplieron varias actividades, particularmente los relacionados con educación, pues no hay evidencias que manifiesten el cumplimiento de estos. El plan del 2017 recopila todas las acciones en las que se debe hacer énfasis para</p>
--	--	---	--

	<p>inspección, vigilancia y control (IVC) para identificar y disminuir los usos, aplicaciones o comercializaciones no permitidas de plaguicidas COP por parte de los agricultores y comercializadores. L4</p> <p>3.8. Fortalecer los sistemas de control aduanero en los puertos y pasos fronterizos a ser priorizados, para evitar el ingreso al país de plaguicidas COP. L4</p> <p>3.9. Fortalecer la capacidad de laboratorios acreditados que apoyen la caracterización de plaguicidas COP en el país. L5</p> <p>3.10. Desarrollar la normativa necesaria para regular los plaguicidas COP que no han sido reglamentados de manera explícita. L5</p> <p>3.11. Desarrollar las capacidades del personal encargado de la inspección, vigilancia y control o seguimiento y control en las autoridades competentes, en el marco de gestión integral de plaguicidas COP. L5</p>	<p>mejorar la gestión de este grupo de COP, resaltándose aspectos como normatividad, educación y mitigación de las emisiones.</p> <p>Con respecto a las sustancias COP de uso industrial existe una falta de atención debido a que estas sustancias son las que se han incluido recientemente a los anexos de Convenio de Estocolmo, en el plan del 2010 se contaba con 9 sustancias nuevas incluidas al convenio y ahora contamos con 16 sustancias nuevas para completar un total de 28 sustancias COP enlistadas y reguladas por la convención. En primer lugar las actividades se plantearon siguiendo las directrices de las líneas estratégicas para proceder en una gestión adecuada (PNI 2010) sin embargo no han sido</p>	<p>muchos los avances que se han tenido al respecto pues no se cuenta con un inventario que refleje la situación del país frente a estas</p>
	<p><b>Plan de acción para PCB</b> Este plan tiene como objetivo general "Identificar, gestionar y eliminar las existencias de PCB en Colombia,</p>	<p><b>Plan de acción para PCB</b> Plantea las acciones que se consideran necesarias para continuar adelantando una adecuada gestión de PCB en el país, así</p>	

	<p>apuntando a reducir y gradualmente a eliminar los efectos de su manejo inadecuado y a cumplir los compromisos del convenio de Estocolmo.</p> <p>Este plan tiene un enfoque sectorial debido a que los sectores: eléctrico, de manufactura y de hidrocarburos son los que poseen equipos, elementos y sustancias contaminados con PCB; por tal razón es que estos sectores deben hacer planes estratégicos que se ajusten a las condiciones particulares de cada uno.</p> <p>A partir del 2011 las empresas que manejen o tengan existencias de estas sustancias deben elaborar un capítulo específico de PCB en su plan de gestión integral de residuos peligrosos. Como lineamientos generales, este capítulo debe contener:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Identificación de equipos contaminados.</li> <li>-Inventario de PCB, cantidades contaminadas.</li> </ul>	<p>como prevenir y minimizar sus efectos en la salud humana y el ambiente y dar cumplimiento a los compromisos a nivel nacional e internacional.</p> <p>Su objetivo general es “Eliminar los bifenilos policlorados (PCB) existentes en el país, a través de su manejo ambientalmente seguro y racional”.</p> <p>Están involucrados aproximadamente 26 actores de diferentes sectores.</p> <p>Las actividades están planteadas en torno a cada objetivo específico, y circunscritas a uno de los lineamientos de esta manera:</p> <p>Objetivo específico 1: Identificar, marcar y eliminar los equipos, aceites y residuos contaminados con PCB existentes en Colombia.</p> <p>1.1. Mantener actualizado y divulgar periódicamente los resultados del Inventario Nacional de PCB, que permitan entre otros, realizar el seguimiento y reportar el cumplimiento de las metas de marcado y eliminación de PCB ante el Convenio de Estocolmo.L1</p> <p>1.2. Diseñar el esquema de la vigilancia epidemiológica ambiental en áreas o zonas</p>	<p>sustancias, sumado a esto se debe tener en cuenta que estas sustancias no se producen en el país y por lo tanto las vías de acceso para que entren son las importaciones de electrodomésticos y equipos que contienen materiales contaminados con estas sustancias. EL plan del 2017 presenta una serie de actividades que buscan lograr una gestión integral para estas sustancias, resaltando su identificación, la capacitación de personal que se encuentra expuesto a estas sustancias y la eliminación de las existencias.</p> <p>Por último, es importante resaltar el plan de acciones transversales que presenta el documento del 2010 pues presenta de forma detallada las actividades que debían realizar a corto plazo para la implementación del convenio. A la luz de la actualidad se han apreciado cambios importantes y alcances significativos</p>
--	---	--	---



	<p>-Plan operacional de manejo interno.</p> <p>- Cronograma de desactivación y sustitución de equipos con PCB.</p> <p>-Acciones de prevención a la contaminación y dispersión.</p> <p>De acuerdo con las líneas estratégicas, las actividades propuestas para los planes de acción son:</p> <p>Identificación:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ampliación y mejoramiento de los inventarios de PCB, con base en el principio y en las acciones de autogestión.</li> </ol> <p>Prevención:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2. Control efectivo para evitar la importación indebida de PCB.</li> <li>3. Establecimiento de criterios normas y procedimientos para las empresas prestadoras de servicios de mantenimiento de equipos eléctricos y aceites dieléctricos.</li> <li>4. Aplicación de medidas de control sobre la transferencia de aceites dieléctricos y equipos eléctricos desactivados hacia recicladores y chatarreros.</li> </ol>	<p>del país con existencias o sitios contaminados con PCB y sus efectos en la salud, identificados a partir del monitoreo o estudios ambientales disponibles. L2</p> <p>1.3. Promover las alternativas de marcado de equipos que garanticen la identificación de aquellos contaminados con PCB. L3</p> <p>1.4. Promover la eliminación ambientalmente segura (interna o a través de movimientos transfronterizos) de las existencias de aceites, equipos y desechos contaminados con PCB, identificadas a través del Inventario Nacional de PCB. L3</p> <p>1.5. Adelantar actividades de control y seguimiento por parte de las autoridades ambientales para promover el cumplimiento de la normativa vigente en materia de PCB. L4</p> <p>1.6. Realizar actividades de control y seguimiento a las instalaciones autorizadas para el manejo ambientalmente seguro de PCB. L4</p> <p>1.7. Implementar mecanismos de control aduanero para evitar el ingreso al país de elementos contaminados con PCB y controlar los movimientos transfronterizos</p>	<p>en cuanto a la gestión de los COP relacionados con las acciones de este plan pero existe un apartado que no se cumplió en absoluto, “capacitación y divulgación”, en este apartado se ofrecieron varias estrategias para promover la circulación de la información como “la red de divulgación en el tema de COP, REDCOP” que no existe, y las redes que se establecieron se hicieron entre las entidades gubernamentales como los ministerios, sus institutos de investigación como el INS o el IDEAM, pero no hubo relación con las universidades y demás centros educativos en los que se puede desarrollar investigación y divulgación frente a este tema. Este tópico afecta al que lo sucede, que es “Investigación” pues se plantean actividades y se plantean los aspectos más relevantes para investigar pero al no divulgar no es mucho lo que se ha logrado en este</p>
--	---	--	---

	<p>Reducción del riesgo:</p> <p>5. Desarrollo de programas de desactivación y retiro de uso de equipos eléctricos contaminados con PCB.</p> <p>6. Mejoramiento del manejo interno de los equipos, aceites y materiales contaminados con PCB.</p> <p>7. Desarrollo de lineamientos para garantizar una gestión externa ambientalmente adecuada de PCB.</p> <p>Eliminación:</p> <p>8. Creación de mecanismos para atraer y hacer viable la oferta de servicios de gestión ambientalmente racional de equipos, aceites y materiales contaminados con PCB.</p> <p>9. Eliminación de las existencias de aceites, equipos y materiales contaminados con PCB.</p> <p>10. Gestión ambientalmente adecuada de suelos contaminados con PCB.</p>	<p>de elementos contaminados con PCB. L4</p> <p>1.8. Llevar a cabo acciones de control y seguimiento para identificar y registrar a los propietarios de PCB, que aún no se encuentran reportando en el inventario nacional de PCB. L4</p> <p>1.9. Fortalecer con capacitación a las autoridades de comercio y aduaneras, así como a las que adelantan seguimiento y control ambiental a las instalaciones con equipo, aceites y desechos contaminados con PCB. L5</p> <p>Objetivo específico 2: Fortalecer la capacidad de los actores involucrados en la gestión integral y manejo ambientalmente seguro de los PCB para garantizar su eliminación.</p> <p>2.1. Difundir información sobre prevención de los riesgos asociados a los PCB para sensibilizar a los diferentes actores involucrados en su manejo. L1</p> <p>2.2. Verificar que las capacidades instaladas en el país responden a los criterios establecidos en el Manual para la Gestión Integral de PCB para el manejo de equipos, aceites y residuos contaminados, en</p>	<p>tema.</p>
--	---	---	--------------

		<p>concordancia con los lineamientos de los Convenios de Estocolmo y de Basilea. L3</p> <p>2.3. Promover los lineamientos y mecanismos para la gestión integral de los sitios contaminados con PCB en el país, que incluya la identificación y evaluación de riesgos asociados a los mismos. L3</p> <p>2.4. Promover la sustitución y el manejo ambientalmente seguro de equipos contaminados con PCB, pertenecientes a propietarios que no hacen parte del sector eléctrico e identificar casos exitosos en este sentido. L3</p> <p>2.5. Impulsar y facilitar la articulación entre diferentes actores (autoridades ambientales, propietarios de PCB, empresas de mantenimiento, academia, ministerios, institutos de investigación, etc.) a través de jornadas de diálogo, grupos de trabajo y otras iniciativas donde se aborden temáticas asociadas a la gestión integral de PCB. L5</p> <p>2.6. Promover las buenas prácticas y prevención de la contaminación cruzada en instalaciones que realicen actividades de mantenimiento y reparación de equipos</p>	
--	--	--	--

		<p>con aceite dieléctrico. L5</p> <p>2.7. Capacitar a los propietarios de equipos y desechos contaminados con PCB, sobre las normas y criterios técnicos vigentes para la gestión integral de PCB. L5</p>	
	<p><b>Plan de acción para dioxinas y furanos</b></p> <p>Este plan está elaborado a partir de los resultados del inventario de línea base del año 2002 y tiene como principal objetivo: “Prevenir o reducir las liberaciones no intencionales de Dioxinas y Furanos, para proteger la salud humana y el medio ambiente. Las estrategias de este plan están enmarcadas en unir los esfuerzos de diferentes sectores productivos, las autoridades ambientales y gubernamentales y la comunidad para que se encamine hacia mejores prácticas productivas y acuerdos de producción más limpia que sirvan para mejorar el desempeño de las actividades que producen estas sustancias de maneta no intencional.</p>	<p><b>Plan de acción para COP no intencionales</b></p> <p>Se sugieren las actividades necesarias para que el país aborde la problemática asociada con dichas sustancias, se reduzca su generación y liberaciones al ambiente, así como dar cumplimiento a los objetivos propuestos por Colombia en este sentido. De acuerdo con el recálculo del inventario para dioxinas y furanos hecho en el 2002, los procesos que en Colombia aportan en mayor medida son en su orden:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Procesos de quema a cielo abierto.</li> <li>2. Incineración de desechos.</li> <li>3. Misceláneos.</li> <li>4. Producción de metales ferrosos y no ferrosos.</li> <li>5. Producción productos químicos y bienes de consumo.</li> <li>6. Generación de energía y calor.</li> <li>7. Disposición final de residuos.</li> </ol>	

	<p>Las actividades planteadas para cada una de las líneas estratégicas son:</p> <p>Diagnóstico e identificación de fuentes y liberaciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Actualización permanente del inventario de Dioxinas y furanos.</li> <li>2. Creación de la capacidad analítica para dioxinas y furanos.</li> </ol> <p>Prevención y reducción de las liberaciones de dioxinas y furanos:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>3. Medidas para promover la educación, capacitación y sensibilización sobre las estrategias para reducir o eliminar liberaciones de dioxinas y furanos.</li> <li>4. Promover y requerir el empleo de las BEP y BAT, en sectores potencialmente generadores de dioxinas y furanos.</li> <li>5. Aplicación de estrategias de producción más limpia en sectores potencialmente generadores de dioxinas y furanos para evitar su formación y liberación.</li> </ol> <p>Control de la reducción o eliminación de liberaciones de dioxinas y furanos:</p>	<p>8. Producción de productos minerales.</p> <p>9. Transporte.</p> <p>El objetivo general de este plan es “Prevenir, controlar y reducir las emisiones de COP no intencionales en el país a través de del desarrollo de una política y un marco normativo acorde a las necesidades identificadas, así como la implementación de mejores prácticas ambientales (MPA) y mejores técnicas disponibles (MTD), un mejoramiento en la gestión integral de residuos y la toma de conciencia y educación por parte de todos los actores involucrados”.</p> <p>Las actividades se establecieron de acuerdo a los objetivos específicos y cada actividad está relacionada con una de las 5 líneas estratégicas.</p> <p>Objetivo específico 1: Generar el marco normativo y de política necesario para la implementación de las mejores prácticas ambientales (MPA) y mejores técnicas disponibles (MTD), un mejoramiento en la gestión integral de residuos y la toma de conciencia y educación por parte de todos los actores involucrados.</p>	
--	--	--	--

	<p>6. Evaluación, armonización y complementación del marco normativo orientado al control y reducción de la emisión de dioxinas y furanos.</p> <p>7. Desarrollo de normas sectoriales orientadas a establecer los requerimientos técnicos aplicables a las nuevas fuentes de emisión de dioxinas y furanos.</p> <p>8. Evaluación de la eficacia de la gestión nacional para la reducción de las liberaciones no intencionales de COP.</p>	<p>1.1. Promover la educación, capacitación y sensibilización de todos los actores (involucrados, interesados y población en general) en diferentes regiones del país, sobre los riesgos de los COP no intencionales y las medidas que se deben tomar para prevenir, reducir y controlar las liberaciones de COP no intencionales. L1</p> <p>1.2. Diseñar y divulgar material orientativo sobre las mejores técnicas disponibles (MTD) y mejores prácticas ambientales (MPA) promovidas en el país para la prevención y el control integral de la contaminación. L1</p> <p>1.3. Implementar las mejores técnicas disponibles (MTD) y mejores prácticas ambientales (MPA), en los sectores priorizados con mayores liberaciones de COP no intencionales, que en conjunto permitan alcanzar la meta de reducción propuesta para estas emisiones. L3</p> <p>1.4. Promover el uso de las mejores técnicas disponibles (MTD) y mejores prácticas ambientales (MPA) en todos los sectores potencialmente generadores de COP no intencionales para el país y</p>	
--	---	---	--

		<p>promover la réplica de proyectos exitosos que permitan reducir la emisión de COP no intencionales, así como el mejoramiento de la gestión integral de residuos en el marco de las políticas nacionales para ello. L3</p> <p>1.5. Evaluar, armonizar y complementar el marco normativo orientado al control y reducción de la emisión de COP no intencionales, incluyendo entre otros aspectos, los lineamientos necesarios para la implementación de las mejores técnicas disponibles (MTD) y mejores prácticas ambientales (MPA), así como el mejoramiento de la gestión integral de residuos en el marco de las políticas nacionales para ello. L5</p> <p>Objetivo específico 2: Realizar el control y seguimiento a la prevención y reducción de emisiones de COP no intencionales, en concordancia con las políticas y el marco regulatorio definidos para ello.</p> <p>2.1. Actualizar periódicamente el inventario de fuentes y liberaciones de COP no intencionales, así como identificar otros sistemas de información transversales que permitan alimentar este inventario con la</p>	
--	--	---	--

		<p>frecuencia deseada.</p> <p>2.2. Diseñar el esquema de la vigilancia epidemiológica ambiental en áreas o zonas del país de mayores liberaciones de COP no intencionales y sus efectos en la salud, identificados a partir del monitoreo o estudios ambientales disponibles. L2</p> <p>2.3. Implementar el programa de seguimiento y control para COP no intencionales para verificar el cumplimiento de lo establecido en la normativa colombiana aplicable, por parte de las fuentes generadoras y acorde a los lineamientos establecidos a nivel nacional. L4</p> <p>2.4. Diseñar y ejecutar un programa para verificar periódicamente (al menos cada cinco años) los resultados alcanzados en la reducción de las emisiones de COP no intencionales, con el fin de determinar la eficacia de las medidas adoptadas. L4</p> <p>2.5. Fortalecer la capacidad del país para el monitoreo de COP no intencionales, incluido el monitoreo en alimentos, así como la necesaria para la identificación y caracterización de sitios contaminados con</p>	
--	--	---	--



		<p>estas sustancias. L4</p> <p>2.6. Desarrollar las capacidades del personal de autoridades ambientales y sanitarias, empresas generadoras de COP no intencionales y sector productivo, sobre estimación de emisiones y características de las fuentes generadoras de estas. L4</p>	
	<p><b>Plan de acción sustancias químicas COP</b></p> <p>Se tiene en cuenta que para el año 2008 se incluyeron 9 sustancias COP al convenio de Estocolmo y por esta razón se deben proponer acciones para su gestión.</p> <p>Como no se tiene prohibición en el país sobre el uso de sustancias químicas COP, ni se cuenta con registros que permitan conocer en que equipos u objetos se puede encontrar estas sustancias, el plan de acción presenta las estrategias para cuantificar e identificar las existencias de materiales contaminados y las acciones para las líneas estratégicas.</p> <p>El objetivo general de este plan es:</p>	<p><b>Plan de acción para COP de uso industrial</b></p> <p>En la actualidad no existe en el país reglamentación que prohíba la importación y uso de estas sustancias COP, ni se cuenta con la identificación plena de los productos químicos y artículos importados, fabricados y comercializados en el país que puedan contenerlas.</p> <p>El objetivo general de este plan es “Promover la gestión integral de los COP de uso industrial a través de la identificación de los elementos que los contienen en su ciclo de vida, y garantizar su manejo ambientalmente seguro”.</p> <p>Las actividades se establecen de acuerdo a los objetivos específicos y están relacionadas con las líneas estratégicas.</p> <p>Objetivo específico 1: Identificar los</p>	

	<p>“Identificar, gestionar y eliminar las existencias de sustancias químicas COP en Colombia, apuntando a reducir y gradualmente a eliminar los efectos de su manejo inadecuado y a cumplir los compromisos del Convenio de Estocolmo.</p> <p>Las actividades a realizar para cada línea estratégicas son:</p> <p>Identificación:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Recopilación de la información sobre las estadísticas nacionales de los nuevos COP (producción, importación, usos, otros).</li> <li>2. Evaluación y determinación de las metodologías adecuadas para el desarrollo y actualización permanente de los inventarios.</li> <li>3. Reconocimiento de la capacidad nacional de monitoreo para los nuevos COP.</li> <li>4. Reconocimiento de la situación actual del país frente los sustitutos de las sustancias químicas COP.</li> </ol> <p>Prevención:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>5. Evaluación del actual marco</li> </ol>	<p>elementos (productos, artículos y residuos) que contienen sustancias COP de uso industrial en Colombia.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1. Elaborar y mantener actualizado el inventario nacional de COP de uso industrial que incluya información relativa a: tipo y cantidad de cada sustancia, elementos y residuos que las contienen, fabricantes (si los hay), importadores y comercializadores de productos o elementos que puedan contenerlos, etapas del ciclo de vida de estos productos, identificación de sitios contaminados con ellos y consideraciones preliminares para aquellos que se encuentren propuestos y en evaluación para ser incluidos como COP. L1</li> <li>1.2. Mantener actualizadas las sub partidas arancelarias al nivel de detalle requerido, para realizar los inventarios y estudios sobre COP de uso industrial, así como establecer las medidas de control requeridas. L1</li> <li>1.3. Fortalecer la capacidad del personal de los laboratorios acreditados que apoyen la caracterización de sustancias COP de uso</li> </ol>	
--	---	--	--

	<p>normativo e identificación de necesidades frente al control de los nuevos COP.</p> <p>6. Evaluación de la viabilidad técnica, económica y ambiental de sustituir el uso de los nuevos COP.</p> <p>7. Determinación de las necesidades para la Construcción de capacidad nacional frente a la prevención de los efectos a la salud y el ambiente por los nuevos COP, su control, monitoreo y generación de informes.</p> <p>8. Evaluación y determinación de estrategias para la comunicación y divulgación del riesgo asociado con los nuevos COP.</p> <p>9. Creación y fortalecimiento del sistema de registro, inspección y vigilancia de sustancias químicas de uso industrial.</p> <p>Reducción del riesgo:</p> <p>10. Identificación de existencias de residuos de los nuevos COP.</p> <p>11. Desarrollo de directrices para el manejo ambientalmente</p>	<p>industrial en el país. L5</p> <p>1.4. Evaluar, armonizar y complementar el marco normativo orientado al control de los COP de uso industrial en el país, incluyendo entre otros aspectos, los lineamientos necesarios para la implementación de las mejores técnicas disponibles (MTD) y mejores prácticas ambientales (MPA), así como el mejoramiento de la gestión integral de residuos en el marco de las políticas nacionales para ello. L5</p> <p>Objetivo específico 2: Promover el manejo ambientalmente seguro de las sustancias COP de uso industrial y los elementos que las contienen (productos, artículos y residuos).</p> <p>2.1. Desarrollar herramientas para la comunicación efectiva y sensibilización sobre los riesgos asociados al manejo de elementos o residuos que contengan COP de uso industrial, dirigidas a los trabajadores, consumidores y demás partes interesadas, en el marco de la política de producción y consumo sostenible. L1</p> <p>2.2. Diseñar el esquema de la vigilancia</p>	
--	---	---	--

	<p>adecuado de las existencias de residuos y productos que contengan o estén contaminados con los nuevos COP.</p> <p>12. Desarrollo de lineamientos para garantizar una gestión ambientalmente adecuada de sustancias químicas COP.</p> <p>Eliminación:</p> <p>13. Evaluación de la capacidad técnica nacional para la gestión ambientalmente racional de sustancias químicas COP.</p> <p>14. Identificación preliminar de sitios potencialmente contaminados con sustancias químicas COP.</p> <p>15. Eliminación de las existencias de sustancias químicas COP.</p> <p>16. Gestión ambientalmente adecuada de los sitios contaminados con sustancias químicas COP.</p>	<p>epidemiológica ambiental en áreas o zonas del país con existencias o aplicación de COP de uso industrial y sus efectos en la salud, identificados a partir del monitoreo o estudios ambientales disponibles. L2</p> <p>2.3. Establecer las directrices para el manejo ambientalmente seguro de residuos que contengan o estén contaminados con sustancias COP de uso industrial, para reducir el riesgo asociado a las mismas. L3</p> <p>2.4. Desarrollar y evaluar casos de sustitución de productos químicos (formulados a partir de sustancias COP y aplicados en artículos importados o fabricados y comercializados en el país), basados en alternativas disponibles, identificadas en estudios internacionales. L3</p> <p>2.5. Promover la eliminación de las existencias de desechos asociados a elementos que podrían contener COP de uso industrial, identificadas a través del inventario inicial de estas sustancias. L3</p> <p>2.6. Desarrollar proyectos demostrativos, que incluyan la promoción e</p>	
--	---	---	--

		<p>implementación de las mejores técnicas disponibles (MTD) y mejores prácticas ambientales (MPA), para la identificación, sustitución de los COP de uso industrial y manejo seguro de los residuos que los contengan. L3</p> <p>2.7. Establecer las actividades de inspección, vigilancia y control que deban ejercer las autoridades competentes, para la gestión integral de los COP de uso industrial. L4</p> <p>2.8. Desarrollar las capacidades del personal encargado de la inspección, vigilancia y control, en las autoridades competentes y en el marco de la gestión integral de los COP de uso industrial. L5</p> <p>2.9. Identificar e implementar incentivos y mecanismos para el financiamiento de la sustitución de sustancias COP por sustancias alternativas. L5</p>	
	<p><b>Plan de acciones transversales</b> Corresponden a las acciones inmediatas o de corto plazo que aseguran las condiciones para que los diferentes sectores responsables</p>		

	<p>dispongan de los instrumentos jurídicos, institucionales, analíticos y administrativos para la organización, ejecución y control de los planes de acción.</p> <p>Tienen en cuenta cinco líneas estratégicas:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Marco normativo.</b> Tiene como objetivo garantizar que el país cuente con un marco legal y reglamentario sólido que permita cumplir con las obligaciones del Convenio. Esta estrategia busca integrar la temática de COP en las políticas públicas, clarificar las competencias de las diferentes entidades con responsabilidades en el PNA.</li> <li>2. <b>Fortalecimiento institucional.</b> Tiene como objetivo dotar al país de la capacidad para implementar de las acciones del Plan, mediante la participación sinérgica de los responsables de forma que se optimicen los recursos disponibles.</li> </ol>		
--	--	--	--

	<p>Esta línea se ejecutará bajo las siguientes estrategias:</p> <p>Fortalecimiento de la capacidad de gestión de las autoridades ambientales regionales y locales.</p> <p>Fortalecimiento de la capacidad de gestión de las entidades del Sistema General de Seguridad Social en Salud.</p> <p>Fortalecimiento de la capacidad analítica nacional.</p> <p><b>3. Vigilancia y monitoreo.</b> Tiene como objetivo contribuir a la prevención de la salud pública, ocupacional y del ambiente. Las estrategias buscan apoyar la socialización y el ajuste del sistema en cada uno de estos vectores para que se articule con el actual e iniciar la divulgación del tema para implementar su aplicación, además apoyar la realización de pruebas del sistema que permita realizar la validación las estrategias y aplicar las bases propuestas.</p>		
--	--	--	--

	<p><b>4. Capacitación y divulgación.</b> Busca fomentar la construcción, intercambio y divulgación de conocimiento sobre la problemática y opciones de gestión de los COP en el país. Las Estrategias comunico-educativas se fundamentan en la conformación de redes que permitan la difusión y formación den forma multinivel; un sistema de enseñanza que trabaje por la creación de cátedras ambientales en escuelas y colegios, la formación de maestros y la elaboración de materiales didácticos; medios de comunicación donde se difundan las producciones realizadas por la REDCOP y las comunidades se verán involucradas con el premio a las mejores prácticas ambientales que otorgará la REDCOP.</p> <p><b>5. Investigación.</b> Tiene como objetivo promover la investigación</p>		
--	--	--	--



	<p>aplicada a los COP, sus efectos sobre la salud y el ambiente en el país y el desarrollo o transferencia de tecnologías de eliminación, remediación y control. La REDCOP buscará la financiación nacional e internacional para la promoción de equipos universitarios y de empresas que quieran realizar investigación e investigación aplicada sobre los COP.</p> <p>Las problemáticas de mayor impacto en el país son:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Métodos para remediación de suelos</li><li>• Técnicas analíticas para la medición de emisiones de COP</li><li>• Concentraciones máximas permisibles de COP en el ambiente laboral</li><li>• Presencia de COP en el ambiente, para regiones de alto riesgo, como</li><li>• Exposición a COP para estimar causa – efecto y curvas dosis-respuesta</li></ul>		
--	--	--	--

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valoración económica de los impactos de COP en salud (fase II)</li> <li>• Magnitud y alcance de la contaminación por plaguicidas en las pistas de fumigación.</li> <li>• Modelaje de la dispersión de los plaguicidas en las áreas afectadas, áreas de enterramiento y de almacenamiento.</li> <li>• Magnitud y alcance geográfico de la contaminación ambiental de los sitios críticos donde se almacenan y se han enterrado plaguicidas.</li> <li>• Realizar un mapa de la contaminación ambiental con la ubicación geográfica de las fuentes y la magnitud de la exposición por cada grupo de COP.</li> <li>• Estudios toxicológicos en animales de experimentación que permitan detectar concentraciones particularmente en organismos acuáticos para posteriormente determinar los valores límites permisibles.</li> </ul>		
--	--	--	--

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudios prospectivos que determinen la magnitud de la exposición y la magnitud del riesgo real de la población colombiana. Con el fin de determinar la relación casual asociado con la exposición.</li> </ul>		
--	---	--	--

La figura 16, es muestra de un logro importante alcanzado con la actualización del plan nacional de implementación a partir del 2015, pues las acciones sobre los COP no atañen solamente a los ministerios de ambiente, salud, protección social y agricultura, como fue en la fase inicial de la implementación del Convenio de Estocolmo en el 2010, sino que ahora involucra nuevos actores con competencias diferentes al tema ambiental pero que afectan directamente los procesos de proteger la salud y el medio ambiente de los COP. Es así como se observan actualmente instituciones como el SENA, la DIAN, la POLFA, la Aerocivil, que antes no estaban relacionadas con la problemática, pero con los estudios sobre la procedencia de las sustancias COP en el país fue de primera necesidad incluirlas en los planes de acción.



**Figura 16.** Principales actores involucrados en la gestión integral de COP en Colombia (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

## 7.2 Revisión de la literatura

Después de realizar la búsqueda de la información y la posterior selección de las publicaciones que se tuvieron en cuenta para esta revisión se obtuvieron los resultados que se presentan en la tabla 5, que presenta de forma detallada la cantidad de publicaciones y trabajos encontrados para las divisiones y categorías que se establecieron respecto a la temática de COP. Estos resultados son producto de la clasificación hecha al inicio de la revisión que permitió establecer las categorías de acuerdo a los tópicos más importantes de la temática que se consignaron en la figura 14.

CATEGORÍA	DOCUMENTOS SELECCIONADOS	TIPO DE DOCUMENTO		CLASIFICACIÓN DE CONTAMINANTES			
		ART.	TESIS	POC	DIOXINAS Y FURANOS	PCB	COP INDUS.
CUANTIFICACIÓN HUMANOS	8	7	1	6	1	1	0
CUANTIFICACIÓN AMBIENTE	14	10	4	5	5	1	4

DEGRADACIÓN/ ELIMINACIÓN	11	6	5	4	1	6	0
REVISIÓN	8	5	3	2	4	1	1
TOTAL	41	28	13	17	11	9	5

**Tabla 5.** Sistematización de documentos seleccionados para la revisión bibliográfica.

En total para la revisión de literatura que nos permitió establecer el estado del arte de los COP, se tuvieron en cuenta 41 publicaciones de las cuales, 28 son artículos científicos publicados en revistas y 13 son trabajos de grado o adelantos de proyectos.

La tabla 5 permite establecer relaciones entre a la cantidad de publicaciones por categoría y la clasificación de las sustancias, de esta manera se puede manifestar que la mayoría de los documentos encontrados y seleccionados son estudios que están relacionados con la cuantificación de sustancias COP en el ambiente, seguidos de los estudios sobre degradación y eliminación, para los cuales más de la mitad tratan sobre PCB. También es evidente al observar la tabla que la mayoría de estudios están dirigidos a los plaguicidas organoclorados, esto se liga estrechamente a la economía de producción agrícola que tiene el país, además, se refleja de otra manera al ver que la cantidad de estudios que incluyen los COP de uso industrial son los más escasos. Si se retoma lo que expone el Plan Nacional de Implementación del 2017, es claro que Colombia es un país agrícola que no produce la mayoría de las sustancias que están enlistadas en el Convenio de Estocolmo y por tanto todas las cantidades de contaminantes industriales encontradas en el país provienen de la importación y contrabando de mercancías y equipos de otros países; lo anterior sumado a que la industrialización del país no está tan desarrollada permite inferir que los COP que más prevalencia tienen en Colombia son los plaguicidas y los derivados de producción no intencional como las dioxinas y furanos y los PCB.

Teniendo en cuenta la organización por categorías establecida para la organización de las fuentes consultadas, se procederá a desarrollar los temas de los documentos por apartados.

### 7.2.1 Cuantificación Humanos.

En primer lugar, se debe mencionar que en esta categoría hubo predominio de estudios relacionados con plaguicidas organoclorados (6 estudios) los cuales hacen referencia a la exposición de los trabajadores a los plaguicidas y la concentración de estas sustancias en leche materna. Los otros estudios están relacionados con PCB y dioxinas y furanos.

Los estudios revisados indican que los trabajadores de los cultivos de diferentes productos agrícolas en Colombia se ven expuestos a los plaguicidas, debido a las labores de control de las diferentes plagas que se encuentran en estos, ya sea por manipulación, aplicación o contacto con las sustancias o insumos utilizados durante los procesos de fumigación; sumado a esto se tiene el desconocimiento del potencial nocivo de estas sustancias al no presentar síntomas instantáneos asociado a la falta uso y dotación de equipos de protección para desempeñar las labores de fumigación(Bedoya P, García R., Londoño F., Restrepo C., & C., 2015).

Se resalta que los plaguicidas producen efectos negativos a la salud humana como los efectos genotóxicos encontrados en los trabajadores de los cultivos de arroz de los municipios del Guamo, Espinal y Purificación, para los cuales en muestras de sangre se determinó la presencia de los siguientes plaguicidas:  $\alpha$ -HCH, hexaclorobenceno, heptacloro, oxiclordano, 4,4-DDE,  $\beta$ -Endosulfan, 2,4-DDT y Endosulfan sulfato, que se relacionaba con el daño en el ADN, el cual fue mayor en los trabajadores de El Guamo (Briceño, Varona, & Sánchez, 2013). En esta revisión se pudo evidenciar que no solo se han usado plaguicidas para los cultivos de productos alimenticios, sino que también en cultivos ilícitos. El estudio revisado manifestó que no se trataba absolutamente de los plaguicidas que se utilizan en cultivos ilícitos, sino más bien que se hizo la cuantificación de 13 plaguicidas organoclorados en una zona donde se presentan este tipo de cultivos, como resultados obtuvieron que el clordano fue el mayor utilizado en esta zona, sin embargo no es evidente si este pesticida se utilizó en los cultivos ilícitos o en los cultivos legales (Varona et al., 2010).

Estos estudios también reflejaron que se continúan empleando plaguicidas restringidos por su elevada toxicidad, que representan un riesgo en la medida en que pueda llegar a personas a través de los alimentos y las fuentes de agua. Bedoya et al. (2015) concluyen que: *“Con base en los resultados se evidencia la constante exposición y persistencia de los OCP en los trabajadores agrícolas y, se hace hincapié en la falta de concienciación, normatividad, vigilancia, control, monitoreo y uso de los elementos de protección personal para evitar el aumento de enfermedades...”*.

Existe una preocupación por el hallazgo de concentraciones elevadas de plaguicidas COP en estudios tan recientes ya que estas sustancias en su mayoría están prohibidas y las demás están reguladas por la ley 1196 de 2008, por lo cual los investigadores y las autoridades ambientales infieren que existen medios de ingreso de forma ilegal de estas sustancias al país y debido al desconocimiento de su poder mortífero o incluso a pesar del conocimiento se utilizan de manera indiscriminada. El plaguicida que más se relaciona en el estudio de las aguas del río Bogotá en Suesca es el Endosulfán (Monsalve, Criollo, Uribe, Mantilla, & Forero, 2012).

El estudio de la leche materna es de suma importancia pues se convierte en un indicador indiscutible de la contaminación con COP debido a que la producción de leche materna está relacionada con el metabolismo de las reservas lipídicas del cuerpo de las madres gestantes donde se pudo haber acumulado cualquier sustancia COP. Se encontraron en este estudio concentraciones moderadas de POC comparados con estudios de otros países, también es importante resaltar que las madres que fueron objeto de este estudio residían en Bogotá, por lo que su exposición a los plaguicidas no es tan directa como en el caso de las mujeres que habitan municipios agrícolas; por esta razón se explica que no se hayan encontrado niveles de  $\gamma$ -HCH (lindano), siendo este plaguicida uno de los últimos que se restringieron en Colombia (Rojas-Squella et al., 2013).

Otro estudio determinó concentración de dioxinas y furanos en diferentes aceites comerciales de origen animal y vegetal, además en mantequilla y camarones, estos alimentos se escogieron por su alto contenido graso y teniendo en cuenta que la mayor exposición del ser humano a los COP es por vía alimenticia. Las

cuantificaciones se hicieron utilizando cromatografía de gases de alta resolución acoplada a espectrometría de masas de alta resolución (HRGC-HRMS). Los resultados reportados exponen que los aceites de origen animal y en los camarones se encontraron los niveles más altos de PCDD/PCDF y PCB similares a dioxinas (dl-PCB), los valores más bajos fueron obtenidos por los aceites vegetales. Este estudio resalta que los resultados de los aceites vegetales en comparación con datos publicados para muestras europeas son más bajos, sin embargo, los niveles de los aceites de pescado sobrepasan la regulación europea y en Colombia ni siquiera están regulados(Pemberthy et al., 2016).

Los otros estudios relacionados en esta categoría corresponden, en primera medida a la validación de un método de análisis de PCB en suero sanguíneo(Ávila & Ramírez, 2017), que resultó ser preciso para hacer estudios de control biológicos de estos contaminantes en la población, con más hincapié en los trabajadores o personas expuestas a aceites dieléctricos procedentes de equipos eléctricos, esto delimitado por la urgencia de atender estas sustancias que se encuentran dentro de las cinco más peligrosas de todos los COP. En segunda medida está el estudio sobre los plaguicidas en Colombia del cual se resalta la información que suministra sobre el porcentaje de uso de los plaguicidas, donde el 45% se ha utilizado en cultivos de algodón y otro 45% se ha utilizado en cultivos de papa, maíz y arroz; el 10% restante corresponde a otros cultivos y control de vectores de enfermedades como la malaria y la fiebre amarilla. El estudio resalta que en el país se tiene experiencia en remediación de matrices ambientales por derrame de hidrocarburos, pero esto no es útil cuando la mayor problemática son los suelos contaminados con plaguicidas COP, los cuales no han sido tratados(García Ubaque, García Ubaque, & Vaca Bohórquez, 2015).

## **7.2.2 Cuantificación en ambiente**

En esta categoría se nota un empate entre las publicaciones relacionadas con pesticidas organoclorados y dioxinas y furanos, seguido de los estudios sobre COP de uso industrial; es clave mencionar que en esta clasificación se incluyeron los hidrocarburos aromáticos policíclicos, a pesar de no estar incluidos en el Convenio de Estocolmo, por ser contaminantes orgánicos que se encuentran en altas concentraciones y por sus efectos mutagénicos y carcinogénicos(A. Quijano & Meléndez, 2014).

Para las dioxinas y furanos hay dos estudios que se relacionan en la cuantificación de estas sustancias en la atmósfera, en uno se determinan las concentraciones en diferentes puntos de la ciudad de Manizales (Johana Cortés, 2013) y en otro se comparan estos puntos con uno de la ciudad de Bogotá, los resultados de este estudio se comparan a su vez con los obtenidos en otras ciudades del mundo con el trabajo de la red GAPS (Global Atmospheric Passive Sampling) cuyo objetivo es hacer un esfuerzo para que los países emergentes establezcan varias estaciones PAS (passive atmospheric samplig)(J. Cortés et al., 2016). Para el caso de Manizales los investigadores presentan que se obtuvo una mayor concentración de dioxinas y furanos en los puntos de muestreo con influencia industrial y de flujo vehicular(J.

Cortés et al., 2014). Por lo que se refiere a la comparación de las dos ciudades colombianas, los investigadores afirman que: “*Las mayores concentraciones de sustancias COP se obtuvieron en las zonas industriales y las menores en las zonas residenciales*” y que respecto a las variaciones meteorológicas no encontraron relación con la concentración de sustancias COP, como se evidencia en países con estaciones, por lo cual aseguran que la dinámica de estas sustancias en el ambiente de las ciudades tropicales depende de las fuentes de emisión (J. Cortés et al., 2016).

Es importante tener en cuenta que dentro de esta revisión el estudio de Cortés et al. (2016) es el único que reporta datos sobre contaminación con dioxinas y furanos en Bogotá, incluso en los datos con los que comparan, provenientes de la red GAPS, no se registran datos de Bogotá sino de ciudades como Arauca. de esta comparación los autores presentan que Bogotá muestra resultados mayores que el área urbana de Quito Ecuador y menores que la ciudad de Sao Paulo en Brasil y que el congénere de dioxinas que más predominó fue OCDD y de PCB fueron el 118 y 105(J. Cortés et al., 2016).

Los estudios vinculados a los hidrocarburos aromáticos policíclicos se realizaron en la costa caribe de Colombia y dos ciudades al oriente del país. En la costa caribe se ubicaron 26 estaciones de muestreo, este estudio aclara que los mayores impactos negativos en este lugar provienen de las actividades portuarias y de la llegada de sedimentos transportados por ríos a las desembocaduras; lo anterior se confirma al obtener resultados de que la zona de mayor concentración de hidrocarburos está en Cartagena, seguida por Santa Marta y Barranquilla, todas ciudades con predominante actividad portuaria. La mayoría de las contaminaciones del agua con hidrocarburos están relacionadas con accidentes y derrames de hidrocarburos y carbón mineral por la actividad de varias empresas, los resultados de la Guajira mostraron que al no tener una marcada actividad portuaria la contaminación por hidrocarburos estaba por debajo del umbral(Mejia, 2015). Es importante resaltar la conclusión de Mejia (2015) donde resalta el fenantreno como el HAP con mayor abundancia en las zonas que presentaron las mayores concentraciones.

Respecto a los otros estudios sobre HAP en Colombia, se tienen las determinaciones de estas sustancias en las ciudades de Pamplona y Cúcuta. Para la ciudad de Pamplona se identificaron 13 compuestos HAP de los cuales 6 están relacionados con diferentes tipos de cáncer en seres humanos, para determinar estas sustancias se recolectaron muestras del material particulado 2,5 del cual se extrajeron con diferentes solventes orgánicos los HAP que se cuantificaron por medio de cromatografía de gases GC-FID (flame ionization detector). De este estudio se puede resaltar que existe una relación entre la calidad del aire de una ciudad reflejado en el PM 2,5 y la concentración de sustancias contaminantes que son producto de la combustión de motores vehiculares (M. J. Quijano, Quijano, & Meléndez, 2014). En cuanto al estudio realizado en Cúcuta se identificaron 12 compuestos HAP en el material particulado 2,5, además de esto se hicieron ensayos in vitro para evaluar el daño al ADN que producen estas sustancias, demostrando así que todas la concentraciones halladas producen daños mutagénicos en la población, lo cual indica que la contaminación producida por el flujo vehicular de la ciudad afecta a la población al exponerla a contaminantes que pueden ingresar a los núcleos celulares de sus células y alterar el



ADN. Sumado a lo anterior, no solo se encontraron HAP en el PM 2,5 sino también se encontraron varios metales pesados que influyen considerablemente en la formación de cáncer en seres humanos(A. Quijano & Meléndez, 2014).

Los pesticidas organoclorados juegan un papel fundamental en la investigación sobre COP, los estudios seleccionados para esta revisión se enfocan en la cuantificación de estas sustancias en la atmósfera y en especies animales acuáticas de consumo humano y de evaluar los efectos de estas sustancias en animales. En el primer estudio que se analizó se determinó la concentración de pesticidas organoclorados en Bocachico y Moncholo de la ciénaga grande del bajo Sinú. Se escogieron estas especies debido a sus hábitos alimenticios, siendo el Bocachico iliófago (su alimentación está basada en detrito y sedimento) y el Moncholo es carnívoro, a su vez se escogen porque hacen parte de la dieta de las poblaciones aledañas a la ciénaga. A pesar de que en el lugar se encontraron altas concentraciones de plaguicidas como HCH, lindano y heptacloro, estos plaguicidas no se encontraron en los peces, una posible causa es el metabolismo de cada especie, porque debido a eso se encontraron grandes diferencias en la concentración de diferentes plaguicidas. Así pues, las concentraciones de pesticidas organoclorados encontradas en ambas especies de peces no fueron altas, significan un riesgo potencial debido a la tendencia que tienen estas sustancias de bioacumularse en los tejidos grasos y de biomagnificarse en las cadenas alimenticias (Lans, Diaz, & Paez, 2010).

El estudio de compuestos semivolátiles en Cali identificó que existen sustancias químicas como los PCB y los HAP para los que el área metropolitana funciona como fuente y sustancias como los POC para los cuales el área agrícola del Valle del Cauca funciona como fuentes. Los pesticidas organoclorados que se encontraron en mayor concentración son el endosulfán, HCH y DDT, de los cuales, los dos primeros señalan un uso reciente en los sectores agrícolas de la zona y para el DDT se encontraron las mayores concentraciones de sus metabolitos intermedios, lo cual es señal de un uso envejecido de este plaguicida(Álvarez et al., 2016). Una vez cuantificadas las existencias de estas sustancias, los autores recomiendan investigaciones que evalúen el riesgo a la exposición de la población de esta y otras ciudades a estas sustancias.

Un estudio de gran importancia, que aporta información esencial a la comunidad científica se trata del estudio del efecto directo del DDT en hígado de ratones, el cual pone en manifiesto la relación entre las exposiciones a DDT y dos tipos de diabetes mellitus. Existe evidencia molecular que prueba que el DDT puede imitar los diferentes procesos implicados en la diabetes y las vías de resistencia a la insulina. El estudio se realizó con tres grupos de hembras de ratón de ocho semanas de edad, a un grupo se le inyectó aceite de sésamo y a los otros dos grupos se les inyectó una dosis de 50 y 100 µg/g de DDT disuelto en aceite de sésamo. Este procedimiento se hizo una vez en el día durante cuatro días. En cuanto resultados se obtuvo que hubo una alteración en varios genes que tienen actividad en la resistencia a la insulina, sin embargo, no se evidenciaron problemas de peso, o problemas relacionados con toxicidad hepática o patologías hepáticas (Arroyo-Salgado et al., 2016).

También hay un estudio sobre la validación de un método para cuantificar 12 pesticidas organoclorados en muestras de agua provenientes de la cuenca alta del río Bogotá utilizando cromatografía de gases con detector de microcaptura electrónica. El

autor expone que la metodología validada satisface los requerimientos para ser utilizada en cualquier laboratorio, además aporta de manera significativa al proyecto dentro del cual se encontraba adscrito este trabajo, denominado: Plaguicidas en el río Bogotá: Efecto en el pez capitán y en la población ribereña del municipio de Suesca (Díaz, 2009); está relacionado con otra publicación seleccionada para esta revisión que fue analizada en la categoría anterior.

Cuando se trata de dioxinas y furanos, los estudios más importantes son los de cuantificación en fuentes emisoras como los incineradores de residuos, que en Colombia no tienen metodologías óptimas para evitar la emisión de contaminantes por la combustión. Un estudio de caracterización de las cenizas volantes de un incinerador de residuos peligrosos en Medellín, tenía como objetivo determinar la cantidad de dioxinas presentes en las cenizas y hacer la caracterización de estas cenizas. En cuanto a la metodología se hizo una caracterización a partir de análisis elemental y técnicas espectroscópicas; para la cuantificación de dioxinas se utilizó cromatografía de gases de alta resolución acoplada a un espectrómetro de masas de baja resolución. La alta concentración de dioxinas en las muestras de ceniza volante podría estar relacionada con una operación ineficiente como por ejemplo el diseño de horno obsoleto y sistema de enfriamiento de gas lento. Además, la composición de la entrada de desechos pues es muy común operar con mezclas de residuos industriales y hospitalarios (M. Cobo, Gálvez, Conesa, & Montes de Correa, 2009). Junto con el contenido de dioxinas, se obtuvo en la caracterización un alto contenido de sales inorgánicas y metales pesados junto con compuestos orgánicos aromáticos y cíclicos derivados de la combustión. Otro estudio cuantificó las dioxinas y furanos encontradas en cenizas de un incinerador de residuos hospitalarios, para lo cual se obtuvo una concentración de 4,27 ppb i-TEQ, valor que supera la concentración máxima permitida por la US EPA para la disposición en vertederos controlados (1 ppb). En el proceso de incineración de residuos solo se dispone en rellenos de seguridad una cantidad mínima de cenizas producidas en el proceso, el resto se emite a la atmósfera (Marta Isabel Cobo, Hoyos, Aristizábal, & Montes De Correa, 2004). Las emisiones de dioxinas y furanos se pueden controlar mejorando los procesos de combustión y el diseño de los incineradores que se utilizan para el manejo de residuos peligrosos, se debe procurar que la relación de material a incinerar sea proporcional a la cantidad estequiométrica de oxígeno que se debe suministrar y flujo de aire que se debe administrar para que se dé la reacción sin productos indeseados.

Un estudio que adelanta información innovadora sobre la temática de los COP se adelantó en la Universidad del Valle en Cali, cuya particularidad es que se estudian los COP de uso industrial, en este caso los éteres de bifenilo polibromados (PBDE), sustancia utilizadas como retardantes de llama en una multitud de productos eléctricos y electrónicos, los textiles y espumas, para los cuales no se han realizado estudios previos en Colombia. El estudio en cuestión tiene como objetivo “*proporcionar los primeros datos sobre la presencia de PBDE en mujeres lactantes del Valle del Cauca y de los peces del río Cauca como una posible vía de exposición por ingesta*”, para lo cual se analizaron 8 congéneres de los PBDE. Las muestras se prepararon para hacer su posterior análisis por cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas. Según el estudio el congénere que se encontró con mayor concentración fue el BDE-209 (Páez et al., n.d.). Estudios de este tipo demuestran el avance que ha

tenido la investigación académica en Colombia respecto a los COP, su presencia en el ambiente y la población y su peligrosidad.

Los estudios previamente comentados indican el progreso que ha tenido la investigación en Colombia, pues se están haciendo propuestas de mejora en procesos industriales, se están evidenciando afecciones a la salud y se están cuantificando la presencia de las sustancias COP en diferentes ciudades, sin embargo, es necesario que se creen más redes de investigación donde se socialicen estos avances.

### **7.2.3 Degradación/Eliminación.**

Según los valores consignados en la tabla 5 se aprecia que para esta categoría las sustancias que más estudios presentan son los PCB, seguidos por los POC. Se relacionan estos resultados con los esfuerzos realizados por el ministerio de ambiente frente a los planes de acción sobre los PCB que tienen como meta su eliminación completa para el 2028.

En esta categoría se encuentran tres grupos de sustancias, los PCB, los plaguicidas organoclorados y las dioxinas y furanos. Para los PCB se aprecian diferentes estudios que se pueden dividir en manejo de las sustancias y disposición final; degradación química y degradación biológica. En cuanto a los procesos de gestión y manejo está el estudio que propone el diseño de los procedimientos y funciones que permitan la integración de la resolución 0222 de 2011 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, que contempla los requisitos necesarios para la gestión ambiental integral de equipos y desechos que consisten, contienen o están contaminados con Bifenilos Policlorados, en un procedimiento para manejar los Bifenilos Policlorados en equipos eléctricos sumergidos en aceite, en la ciudad de Medellín. Este estudio se llevó a cabo en la empresa DARTEK SAS, que se trata de una empresa con experiencia en la ejecución de mantenimiento de subestaciones de energía, transformadores de distribución y potencia, montajes electromecánicos y suministros eléctricos. Como metodología se abarcó una entrevista semiestructurada y un análisis documental (Moreno, Lopez, & Quiceno, 2016). De los resultados obtenidos en estos métodos de investigación, se establecieron los requerimientos de los procesos que se deben llevar a cabo para gestionar los PCB, los cuales se resumen así:

- Enfatizar en la importancia de la resolución 0222 de 2011.
- Etiquetar correctamente los equipos, este proceso debe partir de la toma de muestras de aceites que se debe realizar a los equipos inmersos en aceite.
- Reportar al inventario nacional que el equipo fue diagnosticado y etiquetado como libre de PCB.
- Establecer un plan de contingencia para que en caso de ocurrir un derrame de aceite se puedan minimizar los impactos que puedan generarse en el medio ambiente
- Disponer adecuadamente de los equipos que sean diagnosticados como contaminados con PCB.

Este diseño está organizado acorde a los lineamientos estratégicos del plan de acción para PCB del Ministerio de ambiente. En otro estudio se propuso una hoja de ruta para la gestión de PCB (localización, inventario, transporte, almacenamiento y disposición

final). Dentro de la hoja de ruta se propone hacer la localización de los equipos contaminados con PCB, posteriormente un inventario de los equipos eléctricos contaminados con PCB, luego el transporte de estos equipos desde el lugar de su localización hasta su almacenamiento en bodega y por ultimo su disposición final, se propone como método la exportación a países donde se realice el tratamiento de estas sustancias. El principal objetivo de la Hoja de Ruta es brindar un marco de referencia común para todos los propietarios de equipos o elementos contaminados con PCB. A manera de conclusión en el documento exponen que: *“La hoja de ruta muestra de una forma sencilla y práctica cada uno de los requerimientos básicos que se deben seguir en cada uno de las etapas del proceso contemplando y respetando la legislación vigente que existe sobre el tema”*(Puerto, 2015). Estas estrategias son útiles para las empresas que trabajan en el sector de energía eléctrica y que por alguna circunstancia poseen artículos contaminados, los cuales deben reportar y empezar la gestión oportuna.

En degradación química se resalta un estudio que aporta información muy valiosa y concreta sobre los procesos químicos para eliminar PCB, la metodología que se siguió fue la revisión bibliográfica donde se estudiaron procesos como: la oxidación catalítica heterogénea con  $TiO_2$ , oxidación tipo Fenton, oxidación con agua supercrítica, y deoloración catalítica, determinándose que todas la metodologías alcanzan un porcentaje de degradación mayor al 75%, siendo el procedimiento de oxidación en agua supercrítica el que logra los más altos porcentajes de eficiencia de degradación con un 99% en tiempo corto(Rodríguez & Ruiz, 2015). A continuación, se presentará un resumen somero de cada uno de los procesos mencionados en el estudio:

Oxidación fotocatalítica heterogénea utilizando óxido de titanio ( $TiO_2$ )	Reacciones tipo Fenton
La fotocatalisis heterogénea consiste en irradiar la superficie sólida de un semiconductor con una longitud de onda adecuada, para que se generen pares electrón-hueco y propicien reacciones de oxidación-reducción con especies adsorbidas, provenientes de una fase líquida. Este proceso oxidativo genera la transformación química del contaminante, llegando a la obtención de compuestos hidrocarburos o a compuestos con menor cantidad de átomos de cloro en su estructura con respecto a la inicial.	Esta metodología utiliza la combinación de iones metálicos de transición con $H_2O_2$ , donde el ión inicia y cataliza la descomposición del peróxido para producir radicales libres y desencadenar una serie de reacciones que generan el proceso oxidativo de compuestos orgánicos contaminantes en medio acuoso.
Oxidación en agua supercrítica	Método de deoloración reductiva o deshalogenación
El método de oxidación en agua supercrítica para la eliminación de compuestos bifenilos policlorados, es un proceso que se lleva a cabo a temperaturas y presiones superiores a $T_c = 374,2^\circ C$ y $P_c = 22,1 MPa$ según el diagrama de fases del agua. En este estado, el número y persistencia de los puentes de hidrogeno es reducido y el agua con comportamiento de solvente apolar, confiere miscibilidad total al componente orgánico y a los gases, por lo que su uso como medio de reacción permite conducir reacciones de	Este método se basa en la remoción del átomo de Cl del compuesto orgánico a partir de la reacción con un átomo de hidrógeno, produciendo compuestos hidrocarburos y iones cloruro $Cl^-$ .

oxidación.	
------------	--

**Tabla 6.** Resumen de los métodos de eliminación química de PCB analizados en el estudio (Rodríguez & Ruiz, 2015).

Los autores compararon los métodos y resaltaron que el que presta mejor rendimiento es el de oxidación en agua supercrítica y que los demás tienen buen rendimiento en pruebas de laboratorio, pero al ser aplicados en matrices como el suelo su eficacia disminuye significativamente. En este orden de ideas, otro estudio enfatiza en el proceso de oxidación en agua supercrítica para destruir aceites dieléctricos contaminados con PCB, como resultado se obtuvo que las mejores condiciones en la que opera el proceso sin generar residuos es a temperaturas de 520 °C y porcentaje de exceso de oxígeno del 300%. Según los autores, estas condiciones son moderadas con respecto a los resultados de otras investigaciones, donde se utilizan excesos de oxígeno mayor provocando la producción de subproductos no deseados (Marulanda & Bolaños, 2011).

Por lo que respecta a la degradación biológica de PCB se debe tener en cuenta que la contaminación es una mezcla de congéneres, aplicándolo de manera práctica, las enzimas que catalizan la degradación presentan un rango limitado de moléculas que pueden ser degradadas, además no hay una bacteria específica que permita remediar matrices contaminadas con PCB. Un problema clave en este tipo de degradación es que depende de la biodisponibilidad del compuesto, por esta razón se explica que los procesos de biorremediación tengan éxito en los laboratorios y fracasen en los sitios contaminados. Los autores recomiendan usar un esquema constituido por un proceso de degradación anaeróbica, seguido por uno de degradación aeróbica para que haya complementariedad con la totalidad de la comunidad microbiana que es esencial para degradar un amplio rango de congéneres, además de un gran número de productos de degradación. Para superar las dificultades de remediación biológica de sitios contaminados es necesario seguir haciendo estudios para mejorar la biodisponibilidad de los PCB y crear estrategias para mejorar los procesos de degradación aeróbica (ARBELI, 2009).

Otra alternativa dentro de los procesos de degradación biológica es la rizoremediación, esta tecnología se basa en el uso de plantas y sus microorganismos asociados para la degradación de contaminantes. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de cuatro plantas diferentes (*Medicago sativa*, *Avena sativa*, *Brassica nigra*, *Brachiaria decumbens*) en la actividad microbiana de la rizosfera y en la degradación de PCB en un suelo contaminado (A. Cardona, Pino, & Peñuela, 2013). La investigación se hizo en materas con 200g de suelo en las que se sembraron las plantas y se cultivaron durante 6 meses, como resultados se obtuvo una disminución de la concentración de PCB la cual se atribuyó a la acción metabólica de las plantas y los microorganismos, pues solo se encontraron PCB absorbidos en *Brachiaria decumbens*. La que logró un abaja concentración como monocultivo fue el Alfalfa. Se analizó que la disminución de concentración se dio más en los PCB sustituidos con 4 o 5 cloros, confirmándose que entre mayor sustitución la degradación es más lenta (A. Cardona et al., 2013).

Las dioxinas y furanos también han sido objeto de estudio en la degradación, un estudio presenta los resultados de los efectos generados al adicionar hidróxido de sodio al proceso de hidrodecloración en fase líquida (LPHDC) de dioxinas en muestras

de cenizas volantes provenientes de un incinerador. En el estudio se expone que las reacciones de LPHDC generalmente deben realizarse en presencia de una base para neutralizar el cloruro de hidrógeno liberado del proceso de sustitución de cloro por hidrógeno. Se ha reportado en otros estudios que el HCl es un veneno catalítico que actúa de diferentes maneras, como la promoción de la lixiviación en fase activa, la adsorción competitiva entre HCl y el sustrato, la formación de Pd-Cl, la degradación del soporte, la oxidación en fase activa y la formación de residuos carbonosos clorados (Martha I. Cobo, Conesa, & De Correa, 2008). Hay estudios que aprueban el uso de bases en el proceso LPHDC, otros que tienen resultados buenos sin el uso de bases y otros que mencionan que el exceso de base puede afectar el desempeño del catalizador. Se utilizó catalizador de paladio alúmina para efectuar el proceso de hidrodecloración. A partir de los resultados de este estudio los autores lograron concluir:

*“El hidróxido de sodio afecta el rendimiento del 2% en peso de Pd /  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> durante la degradación de extractos de PCDD / F de muestras de cenizas volantes... Se necesita una cantidad óptima de hidróxido de sodio para degradar eficientemente los extractos de dioxinas de las cenizas volantes en tiempos de reacción cortos para evitar el envenenamiento y la lixiviación de Pd y para reducir la deposición de Na sobre la fase activa”* (Martha I. Cobo et al., 2008).

Las conclusiones del estudio neutralizan la discusión sobre el efecto del NaOH en el proceso de hidrodecloración y establece que deben determinarse límites bajo los cuales se las reacciones se den de manera oportuna.

Los estudios seleccionados para esta categoría que tienen que ver con los plaguicidas organoclorados tratan los procesos de degradación desde diferentes puntos de vista. Un estudio de la Universidad Nacional predice la ruta metabólica de degradación del Dieldrín mediante un software, a través de esto se identificaron las reacciones principales, las enzimas y los microorganismos que participan en esta biodegradación; teniendo esto se introdujo el concepto de Biobarrera que está basado en la tecnología de Barreras Reactivas Permeables (PRB), un sistema de lecho relleno pasivo implementado para la remediación de aguas subterráneas como medio alternativo de reacción se ha utilizado Zero Valent Metals (ZVM) como catalizador para la modificación química (por ejemplo, decloración) y luego desintoxicación de derrames en suelos. Esta metodología ha ido evolucionando desde la primera aplicación y con las biobarreras no solo son medios químicos los que intervienen, sino que los microorganismos nativos crecen en superficies sólidas y actúan en la degradación, lo que convierte a esta metodología en más económica. Se partió de la simulación de la degradación para tener ideas sobre el proceso de mineralización que se debe llevar a cabo (S. Cardona & Suárez, 2010). A partir de los resultados, los autores confirmaron que el catabolismo simulado muestra que es posible obtener una mineralización completa del Dieldrín y sugieren utilizar la estrategia del proceso aeróbico / anaeróbico / aeróbico que también se utilizó en el estudio revisado anteriormente sobre PCB pues parece ser más exitosa para el diseño de una planta de tratamiento.

Otro estudio sobre degradación de plaguicidas trata un de las problemáticas más graves que tiene Colombia en cuanto a contaminación con COP y se trata se los suelos contaminados con toxafeno en el municipio de El Copey en el Cesar. Este

estudio señala que el aislamiento de bacterias usando análogos estructurales ha dado resultado para el aislamiento de bacterias degradadoras de PCB, usando el bifenil, endrina y dieldrina, donde usaron el 1,2-epoxiciclohexano como análogo estructural para ambos compuestos y DDT usando bifenil. Para el caso del toxafeno la molécula que se seleccionó fue el camfor debido a su similitud estructural y se utilizó *Pseudomonas putida*, que es la única cepa bacteriana reportada como degradadora de toxafeno en condiciones aerobias y fue previamente aislada con este compuesto (Prieto, 2014). Como resultado se obtuvo que solo los biosólidos en presencia de camfor fueron capaces de degradar toxafeno. Los biosólidos se utilizaron debido a que las pruebas en las muestras de suelo de EL Copey no mostraron señales de degradación, utilizando los biosólidos y el camfor para la remediación sugieren una metodología prometedora para la degradación de toxafeno, sin embargo, se tienen que hacer modificaciones para que sea aplicable en los suelos de EL Copey y se deben seguir estudiando cepas de bacterias que puedan degradar toda la mezcla técnica de toxafeno.

El siguiente trabajo presenta una propuesta para aumentar la biodisponibilidad de DDT por adición de lignito y bacterias solubilizadoras de carbón, su objetivo fue evaluar el efecto del lignito en la biodisponibilidad del DDT en suelos pobres en materia orgánica. Para cumplir con el objetivo se hicieron diferentes ensayos donde se cuantificó la concentración de DDT en agua con DDT disuelto después se sumergir una muestra de suelo tratada con las bacterias y el carbón, también se cuantificó otra muestra de agua después de sumergir una muestra de suelo contaminada con DDT y tratada con el carbón y la bacteria. Agregar enmiendas al suelo para la degradación de contaminantes permite de manera más eficaz eliminar estas sustancias. Es importante aclarar que este estudio solo se desarrolló a escala de laboratorio y se obtuvo como resultado que la adición de lignito al suelo contaminado afecta significativamente y de manera progresiva en el tiempo, la biodisponibilidad de los contaminantes. Usar enmiendas junto con bacterias beneficiosas para el suelo se está convirtiendo en una posibilidad para el tratamiento de suelos contaminados con DDT (Díaz-Fuenmayor, Pantoja-Guerra, Torres-Palma, & Valero, 2017).

El último estudio relacionado con esta categoría se trata del aislamiento de una bacteria degradadora de Endosulfán de suelo de fincas de café, para esto se utilizaron los suelos de fincas en las que en épocas pasadas se utilizó este plaguicida. La biodegradación busca convertir el endosulfán en algún metabolito menos tóxico o inocuo; siguiendo la ruta de degradación endosulfán se biodegrada a sulfato de endosulfán (igual de tóxico al compuesto original) por oxidación y se hidroliza a diol de endosulfán que puede transformarse en endosulfán éter, endosulfán hidroxil éter, endosulfán dialdehído y endosulfán lactona, que son metabolitos menos tóxicos (Castillo, Casas, & Romero, 2011). La degradación con microorganismos busca que los elementos que hacen parte del contaminante sean esenciales para el su metabolismo, así al hacerlos crecer en ambientes contaminados pueden tener acceso a estos elementos por catabolismo de los contaminantes. Para el caso del endosulfán, este contaminante es una fuente S para *Azotobacter* sp. aislado en suelos tomados de plantaciones de café. Los autores lograron concluir que a pesar de las bajas densidades del inóculo utilizado en este estudio, la bacteria es capaz de degradar el endosulfán (Castillo et al., 2011).

Cada uno de los estudios mencionados son muestra de la contribución de la academia para liberar al mundo de los COP, planteando diferentes estrategias que con el transcurrir del tiempo se van mejorando y se convierten en verdaderas soluciones a los problemas, lo más importante es que estas técnicas de remediación sean asequibles técnica y económicamente.

#### 7.2.4 Revisión.

Dentro de las publicaciones seleccionadas para esta categoría, se tiene que la mitad son estudios sobre dioxinas y furanos, dos tratan de las sustancias COP en general y se tiene uno para PCB y otro para COP de uso industrial. Si bien esta categoría se denominó revisión no todos los estudios aquí reunidos corresponden a revisiones bibliográficas, pero se relacionan en esta categoría por sus aportes teóricos.

El primer estudio es una línea base sobre las emisiones de dioxinas y furanos en el tratamiento térmico de residuos en Colombia, que ha sido utilizado para reducir los residuos peligrosos que son producto de actividades industriales o médicas. Este sistema de manejo tiene ventajas como la reducción del volumen y el peso de los residuos, acompañado de la desinfección; también presenta desventajas como lo son la emisión de sustancias tóxicas a la atmósfera, altos costos de operación y la eliminación de los residuos que son producto de la incineración. Este estudio planteó como objetivo mejorar las capacidades analíticas para cuantificar dioxinas y furanos partiendo de la obtención de antecedentes sobre las emisiones en el sector de incineración. Como metodología para la cuantificación se utilizó cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas de baja resolución con trampa de iones (HRGC-ITD-MS/MS) y cromatografía de gases de alta resolución acoplada a espectrometría de masas de alta resolución (HRGC-HRMS). Al analizar las muestras de los incineradores que no utilizan sistemas de control de contaminación en aire-APCS (air pollution control systems) con las que si presentan este sistema se ve claramente una diferencia en los valores de concentración pues en los que no presentan el sistema los valores sobrepasan el valor límite, en cambio cuando utilizan el sistema son pocas muestras las que sobrepasan el valor límite; estos resultados se relacionan con las condiciones de operación de los incineradores. También se compararon los valores que se obtenían por análisis HRGC-ITD-MS/MS y por HRGC-HRMS encontrándose diferencias en los datos obtenidos que están estrechamente relacionados con la tecnología del equipo y las diferencias de cuantificación en cada uno. Los autores recomiendan: "...es esencial mejorar la eficiencia de remoción de los incineradores con APCS e implementar el equipo adecuado para controlar las emisiones de dioxinas..."(Aristizábal et al., 2008).

Un aporte importante en el estudio de las dioxinas y furanos realizado por García et al. (2013) fue la determinación de propiedades fisicoquímicas de las dioxinas y furanos a través del método de contribución de grupos propuesto por Joback (1987), este método asume que cada grupo funcional dentro de una molécula contribuye de forma diferente a cada una de las propiedades de la sustancia. Este estudio se realizó bajo el



marco del proyecto que estudió la viabilidad técnica y ambiental de incinerar residuos sólidos urbanos de origen doméstico en hornos ladrilleros de tipo continuo. Con los resultados obtenidos, se llevó a cabo la evaluación teórica de la termodinámica de formación de PCDD/PCDF que podrían llegar a generarse en este tipo de procesos (García Ubaque, García Vaca, & Vaca, 2013). Los resultados que obtuvieron corresponden con los comportamientos normales que tienen estos compuestos y que están reportados en la literatura; con el método de Joback se obtuvieron valores más altos que los que se reportan por métodos semi-empíricos. Los autores concluyen en general lo siguiente: *“los resultados obtenidos pueden tomarse como base de información para realizar la evaluación termodinámica de la formación de dioxinas y furanos en procesos de combustión”* (García Ubaque et al., 2013).

En otra publicación se estudia la problemática del consumo de dioxinas en humanos, tratando temas como la definición, su estructura química, de qué manera llega a la cadena alimentaria y en qué productos se encuentran con mayor facilidad. A propósito de la trayectoria que siguen las dioxinas hasta llegar al ser humano se debe remontar a las fuentes de emisión que generalmente se relacionan con procesos industriales de combustión, de ahí salen estos compuestos que por su semivolatilidad son transportados por corrientes aéreas a través de la atmósfera y se depositan en suelos o partículas en suspensión del aire, en los suelos son absorbidos por algunas plantas como el pasto, los animales herbívoros al consumir estas plantas contaminadas acumulan en su organismo mayores cantidades del contaminante; si el animal herbívoro se tratase de una vaca, su carne o su leche estaría contaminada con altas concentraciones de dioxinas que pasarían al organismo de los seres humanos que se alimentan de estos. En pocas palabras, la principal fuente de exposición de las dioxinas en humanos son los alimentos contaminados, los autores mencionan que el 95% de la dioxina que llega al cuerpo lo hace a través de productos alimentarios como la carne, el pescado, los huevos y los productos lácteos y que las madres pueden transmitirla a los bebés a través de la leche. También indican que la mayor fuente de dioxinas en la dieta es la leche y sus derivados, seguida por las carnes y sus derivados junto con los aceites y grasas (Pinzón Rojas, 2012). Sumado a eso los efectos adversos a la salud giran en torno al cáncer donde los más representativos son el cáncer de mama en las mujeres y el de próstata en hombres.

Como complemento al estudio anterior se presenta otro estudio sobre la toxicología de las dioxinas y su impacto a la salud humana, para resumir algunos de los efectos más relevantes a la salud se realizó una tabla con las patologías y su descripción.

Efecto adverso	Descripción
Hepatotoxicidad	Las dioxinas disminuyen el peso del hígado e inducen fibrosis periportal, degeneración grasa y acumulación de porfirinas.
Efectos en el tracto gastrointestinal	Se encuentran lesiones polipoides en el estómago y lesiones hiperplásicas en el estómago de animales de laboratorio, en monos rhesus y bovinos.
Neurotoxicidad	La exposición a dioxinas en edad temprana o en la fase placentaria puede alterar el aprendizaje y la conducta.
Carcinogenicidad	El efecto carcinógeno de las dioxinas se explica por su afinidad sobre el receptor arilhidrocarburo que se

	expresa en todos los tejidos.
Mutagenicidad y alteraciones en el desarrollo	La presentación de efectos relacionados con la formación y desarrollo de los órganos, depende de la etapa de la gestación a la cual ocurrió la exposición, siendo crítica en todas las especies de mamíferos, el primer tercio de la gestación
Efecto disruptor endocrino	Los disruptores endocrinos son sustancias químicas, normalmente contaminantes ambientales, que tienen acción hormonal en animales y humanos y por ello alteran el sistema endocrino, predominantemente a nivel reproductivo.
Inmunotoxicidad	En la mayoría de animales de laboratorio se encuentra atrofia del timo. Provoca supresión de la células B y por ello disminución de la producción de anticuerpos.

**Tabla 7.** Efectos adversos de las dioxinas en el cuerpo(Cruz, Moreno, & Lara, 2010).

Este estudio motiva al consumo responsable de alimentos, que está ligado a la producción limpia de los productos alimenticios, que deben ser monitoreados y regulados por las instituciones gubernamentales, todos estos esfuerzos se deben encaminar a la prevención de todos los daños y efectos negativos que causan estas sustancias cuando se acumulan en el cuerpo.

Respecto al estudio de Evaluación de la contaminación por bifenilos policlorados en leche cruda bovina de los departamentos de Cundinamarca, Antioquia, Nariño, Quindío y Boyacá, los autores hicieron la validación del método de análisis por cromatografía de gases con detector de microcaptura electrónica, con el cual se cuantificaron las concentraciones de 6 congéneres de PCB en 100 muestras de leche de diferentes regiones del país. Los resultados arrojados establecieron que todas las muestras estaban por debajo del límite de detección del método aplicado, lo cual quiere decir que no hay concentraciones considerables de estos seis congéneres de PCB y por tanto la leche líquida no se considera un factor de exposición dietaria a COP. Los autores hicieron relaciones con resultados de otros estudios y determinaron que las zonas productoras de leche que se encuentren cerca a sectores industriales, manufactureros, generadoras eléctricas, industrias metalúrgicas, industrias papeleras entre otras industrias químicas, van a tener mayor probabilidad de acumular cantidades considerables de PCB(Jimenez, 2018). Este estudio se puede contrastar con el estudio realizado en leche pasteurizada de Cartagena realizado por Castilla et al. (2012) donde se determinaron POC; el contraste refleja que en las zonas donde se produce la leche en Colombia es más probable la exposición a plaguicidas por ser sectores de producción agrícola que a COP derivados de la producción industrial, es importante que se hagan más estudios para resolver esta controversia y tener información más clara.

Otro estudio que relaciona la problemática de los COP busca dar una visión general de estas sustancias desde sus características, su situación en el mundo, su gestión y su regulación mediante los convenios internacionales. Un aporte importante que suministra este estudio es una tabla que muestra los criterios para la identificación de COP basado en el trabajo de Zarkera & Kerrb (2008).

Propiedad	Criterio para definirlo como COP	
<b>Potencial para transporte atmosférico de largo alcance (LRAT)</b>	Presión de vapor < 1000 Pa	y
	Vida media en aire > 2 días	o
	Presencia de la sustancia en regiones remotas	
<b>Persistencia</b>	Vida media en agua > 2 meses	o
	Vida media en suelos > 6 meses	o
	Vida media en sedimentos > 6 meses	o
<b>Bioacumulación</b>	Log <sub>k<sub>ow</sub></sub> >5 (K <sub>ow</sub> =coeficiente de partición octanol-agua)	o
	BCF > 5000 (BCF: Factor de bioconcentración)	o
	Evidencia de alta toxicidad	

**Tabla 8.** Criterios para identificación de COP(Pacheco, 2008).

Según el autor hoy en día estamos enfrentados a preocupaciones del contexto ambiental donde el desarrollo sostenible y el principio de precaución se transformaron en herramientas esenciales y de apoyo para el análisis ambiental. También hace una reflexión acertada sobre el desarrollo económico y el desarrollo ambiental:

*“Cada vez es más obsoleto e inaceptable pensar que la humanidad tiene que elegir entre el crecimiento económico y la protección ambiental. Sin seguridad ambiental, el crecimiento económico no es sostenible. La ingeniería avanzada, los conceptos de gestión y un mercado mejor educado hacen que sea rentable promover un crecimiento económico sinérgico y un entorno saludable.”(Pacheco, 2008).*

Un artículo de interés debido a que presenta el panorama de los COP en el año 2012, relaciona los aspectos más relevantes de los COP con los procesos adelantados para su gestión y otros estudios. Cuestiones a destacar de este estudio como que los COP son capaces de producir efectos a niveles muy bajos y que se debe tratar de entender que efectos se están produciendo o se van a producir por la inevitable exposición a estas sustancias(García, Rosado, & Salas, 2012). En cuanto a la situación del COP para la época los autores destacan los siguientes tópicos:

- Existencia de plaguicidas obsoletos, zonas contaminadas por enterramientos.
- Carencia de instalaciones apropiadas para la eliminación de COP.
- Dificultades para acceder al uso de tecnología menos contaminantes.

Revisando esos tópicos a la luz de la actualidad se puede afirmar que se han adelantado varias acciones para resolver estas situaciones y que ahora existen otros tópicos en los que se centra la situación actual de los COP.

En esta categoría también se hace alusión a los COP de uso industrial con el estudio de retardantes de fuego bromados como nuevos contaminantes son aditivos de los materiales inflamables para reducir o exterminar el proceso de combustión. Tienen características en común a los demás COP como su toxicidad como disruptores endocrinos, alto volumen de producción y persistencia en el medio ambiente, los PBDE (Éteres de polibromo difenilo) se han convertido en contaminantes que están presentes en todas las matrices ambientales, animales y el hombre. Un problema grave es que sus niveles han incrementado rápidamente en el medio ambiente, estos compuestos se han convertido en contaminantes emergentes distribuidos globalmente, por lo que requieren urgente atención ecosistemas marinos son el destino final de muchos contaminantes lipofílicos persistentes como los PBDE, los grandes depredadores como las ballenas, delfines y tiburones resultan extensamente afectados por estar en la parte más alta de la cadena alimenticia (Jhonson-Restrepo, 2013).

Estos últimos estudios nos invitan a prestar atención de manera oportuna ante a la problemática de la exposición a los COP, que, a pesar de ser inevitable, se puede trabajar para mejorar los procesos industriales y evitar las emisiones, también se deben crear estrategias para controlar los sitios contaminados, eliminar las existencias de contaminantes almacenados y buscar alternativas para sus usos en las diferentes actividades humanas.

## 8 CONCLUSIONES

Partiendo del trabajo de análisis desarrollado durante la elaboración de este trabajo se puede concluir que:

La situación actual de Colombia frente a los COP presenta avances significativos en su gestión, esto está respaldado por el fortalecimiento de las políticas y normativas, la incorporación de nuevos actores en los planes de acción, y los adelantos en los planes de acción como el de los PCB.

Si bien se han adelantado acciones, hay planes de acción que no han sido desarrollados por completo desde su primera promulgación en 2010, estos planes corresponden a los COP de producción no intencional y los COP de uso industrial para los cuales se deben elaborar inventarios actualizados pues se desconoce que pasa actualmente con esas sustancias.

Este trabajo permite evidenciar la importancia del estudio de los COP como sustancias peligrosas a las cuales se expone la humanidad y el medio ambiente de forma inminente y para las cuales se deben implementar estrategias para su gestión ya que al tener origen antropogénico es difícil que la naturaleza se encargue de estas a corto plazo, mientras tanto van produciendo efectos adversos a la salud humana e impactos negativos a el equilibrio ecosistémico del ambiente.

De acuerdo con la revisión sistemática se constata que la mayoría de los estudios desarrollados en Colombia sobre sustancias COP tienen que ver con plaguicidas organoclorados, debido a vasta actividad agrícola que se desarrolla en el país, a estos le siguen los estudios para dioxinas y furanos que según la literatura y el PNI tiene como principal fuente la incineración de residuos.

Los estudios revisados ponen en manifiesto que hasta el momento la metodología de análisis para cuantificar sustancias COP es la Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas con sus diferentes variaciones en detectores, siendo los más utilizados los de microcaptura electrónica.

Actualmente se está incursionando en el estudio de los COP de uso industrial en Colombia, cuantificándolos en diferentes matrices, lo cual permite iniciar a construir el

panorama de estas sustancias en el país y que acciones se deben ejecutar para su gestión.

En cuanto a la investigación, de acuerdo con los resultados de la revisión se aprecia claramente que las universidades son las que más han contribuido al desarrollo de conocimiento sobre los COP en Colombia, dentro de las instituciones del gobierno que más investigación han hecho se puede resaltar al Instituto Nacional de Salud (INS).

## **9 RECOMENDACIONES**

Este estudio es la fase inicial para la construcción de un proyecto que permita aportar nueva información sobre los COP en Colombia, por lo tanto, a partir del el desarrollo y la construcción de este estado del arte se plantean las siguientes actividades como perspectivas del proyecto:

Cuantificación de dioxinas y furanos en diferentes sectores de Bogotá para poder contrastar la situación de la capital colombiana con otras ciudades del mundo.

Estudio de la distribución de los COP en pisos térmicos de Colombia.

Cuantificación de COP en suelo y atmósfera de ecosistemas de páramo en las tres cordilleras de Colombia.

Desarrollo de propuestas didácticas para promover el conocimiento del riesgo de exposición a los COP y en que objetos se pueden encontrar.

## 10 BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, Á. L., Pozo, K., Paéz, M. I., Estellano, V. H., Llanos, Y., & Focardi, S. (2016). Semivolatile Organic Compounds (SVOCs) in the atmosphere of Santiago de Cali, Valle del Cauca, Colombia along north-south transect using polyurethane foam disk as passive air samplers. *Atmospheric Pollution Research*, 7(6), 945–953. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2016.05.006>
- ARBELI, Z. (2009). *Biodegradación de compuestos orgánicos persistentes (COP): I. El caso de los bifenilos policlorados*. *Acta Biológica Colombiana* (Vol. 14). Retrieved from <https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/9769/10301>
- Aristizábal, B., Cobo, M., Hoyos, A., Montes de Correa, C., Abalos, M., Martínez, K., ... Rivera, J. (2008). Baseline levels of dioxin and furan emissions from waste thermal treatment in Colombia. *Chemosphere*, 73(1 SUPPL.), 171–175. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.03.078>
- Arroyo-Salgado, B., Olivero-Verbel, J., Guerrero-Castilla, A., Arroyo-Salgado, B., Olivero-Verbel, J., & Guerrero-Castilla, A. (2016). Direct effect of p,p'- DDT on mice liver. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 52(2), 287–298. <https://doi.org/10.1590/S1984-82502016000200007>
- ATSDR. (2018). Toxicological Profile for Chlordane. Retrieved from <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp31.pdf>
- Ávila, B. S., & Ramírez, C. (2017). Validation of an analytical methodology to determine polychlorinated biphenyls in samples from blood plasma. *Biomédica*, 37(4), 561. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v37i4.3529>
- Bedoya P, S., García R., A., Londoño F., Á. L., Restrepo C., B., & C., B. R. (2015). Determinación de residuos de plaguicidas organoclorados en suero sanguíneo de trabajadores de cultivo de Café y plátano en el departamento del quindío por gc-µecd. *Revista Colombiana de Química*, 43(3), 11–16. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v43n3.53588>
- Beltrán, Ó. (2005). *Revisión sistemática de la literatura*. *Revista Colombiana de Gastroenterología* (Vol. 20). Asociación Colombiana de Gastroenterología. Retrieved from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-99572005000100009](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99572005000100009)
- Briceño, L., Varona, M., & Sánchez, C. (2013). Exposición a plaguicidas y efectos genotóxicos en trabajadores cultivadores de arroz. Intoxicación por plaguicidas entre cultivadores de arroz en Colombia View project Upper limb neurodynamic test 1 in patients with clinical diagnosis View project. In *Investigación Universitaria* (pp. 40–43). Fusagasugá. Retrieved from [https://www.researchgate.net/profile/Leonardo\\_Briceno-Ayala/publication/272291572\\_Exposicion\\_a\\_plaguicidas\\_y\\_efectos\\_genotoxicos\\_en\\_trabajadores\\_cultivadores\\_de\\_arroz/links/54e0a77f0cf24d184b0b81a5/Exposicion-a-plaguicidas-y-efectos-genotoxicos-en-trabaja](https://www.researchgate.net/profile/Leonardo_Briceno-Ayala/publication/272291572_Exposicion_a_plaguicidas_y_efectos_genotoxicos_en_trabajadores_cultivadores_de_arroz/links/54e0a77f0cf24d184b0b81a5/Exposicion-a-plaguicidas-y-efectos-genotoxicos-en-trabaja)

- Cardona, A., Pino, N., & Peñuela, G. (2013). RIZOREMEDIACION DE SUELOS CONTAMINADOS CON PCB UTILIZANDO DIFERENTES PLANTAS EN CULTIVO ÚNICO Y MIXTO. In *Primer Congreso y Reunión fundacional de la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental (SETAC) de los Países Andinos* (pp. 2–3). Medellín, Colombia.
- Cardona, S., & Suárez, E. (2010). BIODEGRADATION PATHWAY PREDICTION OF POPS (PERSISTENT ORGANIC POLLUTANTS) AND BIOBARRIER TREATMENT PREDICCIÓN DE LA RUTA DE BIODEGRADACIÓN DE COPS (CONTAMINANTES ORGÁNICOS PERSISTENTES) Y TRATAMIENTO POR BIOBARRERAS. *115-123. Medellin, 163, 12–7353*. Retrieved from [http://www.bdigital.unal.edu.co/4852/1/Dyna\\_2010\\_No\\_163-115.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/4852/1/Dyna_2010_No_163-115.pdf)
- Carson, R. L. (2013). *Primavera silenciosa*. Barcelona: Editorial Crítica.
- Castillo, J. M., Casas, J., & Romero, E. (2011). Isolation of an endosulfan-degrading bacterium from a coffee farm soil: Persistence and inhibitory effect on its biological functions. *Science of The Total Environment, 412–413, 20–27*. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2011.09.062>
- Centro Nacional de referencia sobre contaminantes orgánicos persistentes. (2004). Dieldrina-Breve perfil de las sustancias COP incluidas en el Convenio de Estocolmo y el Reglamento (CE)n° 850/2004. Retrieved June 12, 2018, from <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www.cnrkop.es/gc/assets/docs/Dieldrina.pdf>
- Centro Nacional de Referencia sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes. (2004). Aldrina-Breve perfil de las sustancias COP incluidas en el Convenio de Estocolmo y el Reglamento (CE)n° 850/2004. Retrieved June 12, 2018, from <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www.cnrkop.es/gc/assets/docs/Aldrina.pdf>
- CNRCOP-Centro Nacional de Referencia sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes. (2004a). Endrina- Breve perfil de las sustancias COP incluidas en el Convenio de Estocolmo y el Reglamento (CE) n° 850/2004. Retrieved June 12, 2018, from [http://www.fiq.unl.edu.ar/modeladomolecular/Alicia\\_bd\\_pcb/www/05-Endrina.pdf](http://www.fiq.unl.edu.ar/modeladomolecular/Alicia_bd_pcb/www/05-Endrina.pdf)
- CNRCOP-Centro Nacional de Referencia sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes. (2004b). Mirex-Breve perfil de las sustancias COP incluidas en el Convenio de Estocolmo y el Reglamento (CE) n° 850/2004. Retrieved June 12, 2018, from [http://www.fiq.unl.edu.ar/modeladomolecular/Alicia\\_bd\\_pcb/www/08-Mirex.pdf](http://www.fiq.unl.edu.ar/modeladomolecular/Alicia_bd_pcb/www/08-Mirex.pdf)
- Cobo, M., Gálvez, A., Conesa, J. A., & Montes de Correa, C. (2009). Characterization of fly ash from a hazardous waste incinerator in Medellín, Colombia. *Journal of Hazardous Materials, 168(2–3), 1223–1232*. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.02.169>
- Cobo, M. I., Conesa, J. A., & De Correa, C. M. (2008). The effect of NaOH on the liquid-phase hydrodechlorination of dioxins over Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *Journal of Physical Chemistry A, 112(37), 8715–8722*. <https://doi.org/10.1021/jp802570t>
- Cobo, M. I., Hoyos, A. E., Aristizábal, B., & Montes De Correa, C. (2004). Dioxinas y furanos en cenizas de incineración Dioxins and furans in fly ashes from an incinerator, 26–38. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/430/43003203.pdf>
- Comisión para la Cooperación Ambiental. (2016). Dioxinas, furanos y hexaclorobenceno | Comisión para la Cooperación Ambiental. Retrieved June 12, 2018, from <http://www.cec.org/es/recursos/dioxinas-furanos-y-hexaclorobenceno>
- Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. (1992). Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Retrieved June 12, 2018, from <http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/documents/declaracionrio.htm>
- Cortés, J. (2013). *EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN EL AIRE AMBIENTE DE MANIZALES POR COPs Y PM 10 AIR POLLUTION EVALUATION IN AMBIENT AIR OF MANIZALES BY POPS AND PM 10*.



- Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/12171/1/4101005.2013.pdf>
- Cortés, J., Cobo, M., González, C. M., Gómez, C. D., Abalos, M., & Aristizábal, B. H. (2016). Environmental variation of PCDD/Fs and dl-PCBs in two tropical Andean Colombian cities using passive samplers. *Science of the Total Environment*, 568(2015), 614–623. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.094>
- Cortés, J., González, C. M., Morales, L., Abalos, M., Abad, E., & Aristizábal, B. H. (2014). PCDD/PCDF and dl-PCB in the ambient air of a tropical Andean city: Passive and active sampling measurements near industrial and vehicular pollution sources. *Science of the Total Environment*, 491–492, 67–74. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.01.113>
- Cruz, A., Moreno, G., & Lara, M. (2010). Toxicología de las dioxinas y su impacto en la salud humana. *Revista de Medicina Veterinaria*, (19), 73–84. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/rmv/n19/n19a07>
- Díaz-Fuenmayor, K. J., Pantoja-Guerra, M., Torres-Palma, R. A., & Valero, N. (2017). CHANGES ON THE BIOAVAILABILITY OF DDT IN SOIL BY ADDITION OF LIGNITE AND COAL SOLUBILIZING BACTERIA. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(2), 259–268. Retrieved from <http://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/RICA.2017.33.02.07/46660>
- Díaz, J. (2009). *Validación de la metodología de extracción en fase sólida (SPE) y cromatografía de gases microcaptura electrónica (GC/μEC) para la determinación de plaguicidas organoclorados en aguas*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Fernández, P., & Grimalt, J. O. (2003). On the Global Distribution of Persistent Organic Pollutants. *CHIMIA International Journal for Chemistry*, 57(9), 514–521. <https://doi.org/10.2533/000942903777679000>
- Fuller, P., & McGarity, T. O. (2003). Beyond the Dirty Dozen: The Bush Administration's Cautious Approach to Listing New Persistent Organic Pollutants and the Future of the Stockholm Convention. *Wm. & Mary Env'tl. L. & Pol'y Rev.*, 28(1), 1.
- García, A., Rosado, D., & Salas, Ma. J. (2012). PANORAMA ACTUAL DE LOS CONTAMINANTES ORGÁNICOS PERSISTENTES. *BIOCIENCIAS*, 7(1). Retrieved from <http://www.unilibrebaq.edu.co/ojsinvestigacion/index.php/biociencias/article/view/38/34>
- García Ubaque, C. A., García Ubaque, J. C., & Vaca Bohórquez, M. L. (2015). Compuestos orgánicos persistentes en Colombia: cuantificación y diagnóstico para pesticidas organoclorados. *Tecnura*, 19(43), 163–169. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.1.a011>
- García Ubaque, C. A., García Vaca, Ma., & Vaca, M. (2013). *Determinación de propiedades fisicoquímicas y termodinámicas de dioxinas y furanos por el método de contribución de grupos*. *Tecnura* (Vol. 17). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Retrieved from <http://www.redalyc.org/html/2570/257029164010/>
- Hutton, B., Catalá-López, F., & Moher, D. (2016). La extensión de la declaración PRISMA para revisiones sistemáticas que incorporan metaanálisis en red: PRISMA-NMA. *Medicina Clínica*. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2016.02.025>
- Iwata, H., Tanabe, S., Sakai, N., Nishimura, A., & Tatsukawa, R. (1994). Geographical distribution of persistent organochlorines in air, water and sediments from Asia and Oceania, and their implications for global redistribution from lower latitudes. *Environmental Pollution*, 85(1), 15–33. [https://doi.org/10.1016/0269-7491\(94\)90234-8](https://doi.org/10.1016/0269-7491(94)90234-8)
- Jhonson-Restrepo, B. (2013). NUEVOS CONTAMINANTES: RETARDANTES DE FUEGO BROMADOS (PBDES, HBCDS, TBBPA): NIVELES, FUENTES Y RUTAS DE EXPOSICIÓN. In *Primer Congreso y Reunión fundacional de la*

- Sociedad de Toxicología y Química Ambiental (SETAC) de los Países Andinos* (pp. 5–6). Medellín, Colombia.
- Jimenez, J. (2018). *Evaluación de la contaminación por bifenilos policlorados (PCB: 28, 52, 101, 118, 138, 153 y 180) en leche cruda bovina de los departamentos de Cundinamarca, Antioquia, Nariño, Quindío y Boyacá por cromatografía de gases con detector de microcaptura de ele.*
- Lans, E., Diaz, B., & Paez, M. (2010). Compuestos organoclorados residuales en dos especies ícticas de la Ciénaga Grande del Bajo Sinú, Córdoba, Colombia. *MVZ Córdoba*. Retrieved from <http://revistas.unicordoba.edu.co/revistamvz/mvz-161/body/v16n1a16.html>
- Letcher, R. J., Bustnes, J. O., Dietz, R., Jenssen, B. M., Jørgensen, E. H., Sonne, C., ... Gabrielsen, G. W. (2010). Exposure and effects assessment of persistent organohalogen contaminants in arctic wildlife and fish. *Science of the Total Environment*, 408(15), 2995–3043. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.10.038>
- Marulanda, V. F., & Bolaños, gustavo A. (2011). Destrucción de aceites dieléctricos mediante oxidación en agua supercrítica: hacia una alternativa de proceso para tratamiento de bifenilos policlorados (PCBs). *INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD*, 11(2), 41–52. <https://doi.org/10.25100/iyc.v11i2.2460>
- Mejía, G. (2015). *HIDROCARBUROS AROMATICOS POLICICLICOS EN LA COSTA CARIBE COLOMBIANA Y POSIBLES FUENTES DE CONTAMINACIÓN*. Universidad de Cartagena. Retrieved from <http://190.242.62.234:8080/jspui/bitstream/11227/2163/1/Trabajo de Grado Gamaliel Mejia.pdf>
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2005). *Aprendamos con Juan sobre los COP*. Colombia: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Retrieved from [http://quimicos.minambiente.gov.co/images/COP/aprendamos\\_con\\_juan\\_sobre\\_lo\\_s\\_COP.pdf](http://quimicos.minambiente.gov.co/images/COP/aprendamos_con_juan_sobre_lo_s_COP.pdf)
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Plan Nacional de Aplicación del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes*. Bogotá D.C.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *PLAN NACIONAL DE IMPLEMENTACIÓN DEL CONVENIO DE ESTOCOLMO SOBRE CONTAMINANTES ORGÁNICOS PERSISTENTES*. Bogotá D.C.
- Monsalve, A. S., Criollo, S. M. D., Uribe, M. E. V., Mantilla, J. F. G., & Forero, A. R. (2012). Exposición a plaguicidas en los habitantes de la ribera del Río Bogotá (Suesca) y en el pez Capitán. *Revista Ciencias de La Salud*. <https://doi.org/10.12804/REVISTAS.UROSARIO.EDU.CO/REVSALUD/A.2026>
- Moreno, D. A., Lopez, E. A., & Quiceno, J. (2016). *Diseño de un procedimiento para manejar los bifenilos policlorados en equipos eléctricos sumergidos en aceite dieléctrico en la ciudad de Medellín*. Medellín.
- Pacheco, A. (2008). *Destino ambiental de la bioacumulación y las sustancias persistentes - Una sinopsis de las acciones existentes y futuras*. *Revista Gerencia y Políticas de Salud* (Vol. 7). Pontificia Universidad Javeriana. Retrieved from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1657-70272008000200002&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1657-70272008000200002&script=sci_arttext&tlng=pt)
- Páez, M., Méndez, F., Ordoñez, J., Casanova, M., Quimbayo, P., & Elharrat, E. (n.d.). CONTENIDO DE RETARDANTES DE LLAMA BROMADOS DE UN ESTUDIO PILOTO REALIZADO EN LECHE MATERNA Y PECES DE POBLACIÓN ALEDAÑA AL RÍO CAUCA.
- Pemberthy, D., Quintero, A., Martrat, M. G., Parera, J., Ábalos, M., Abad, E., & Villa, A. L. (2016). Polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans and dioxin-like PCBs in commercialized food products from Colombia. *Science of the Total Environment*, 568, 1185–1191. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.113>
- Pinzón Rojas, L. D. (2012). Dioxina en los alimentos, riesgo en la salud de los

- consumidores. *reponame:Repositorio Institucional de La Universidad Nacional Abierta Y a Distancia*. Retrieved from <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/1516>
- PNUMA. (2011). Convenio de Estocolmo. Retrieved from <http://sinia.minam.gob.pe/documentos/presentacion-nuevos-contaminantes-organicos-persistentes-cop>
- Prieto, I. (2014). *Estudio de la degradación aeróbica de toxafeno en suelos contaminados de el Copey, Cesár*. Pontificia Universidad Javeriana.
- Puerto, C. (2015). *Procedimiento u hoja de ruta para la localización, inventario, transporte, almacenamiento y disposición final de equipos eléctricos contaminados con PCBs (Bifenilos Policlorados)*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Retrieved from <http://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/3815/1/7217851.pdf>
- Quijano, A., & Meléndez, I. (2014). IDENTIFICACIÓN DE HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (HAPS) EN EL AIRE DE CÚCUTA-COLOMBIA: EFECTO GEN TÓXICO. *Revista EIA*, 11(21). Retrieved from <http://www.redalyc.org/html/1492/149233913007/>
- Quijano, M. J., Quijano, A., & Meléndez, I. (2014). *Identificación de hidrocarburos aromáticos policíclicos en el PM 2.5 del aire de Pamplona- Colombia*. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* (Vol. 17). Retrieved from <http://revistas.udca.edu.co/index.php/act-div-cientifica/article/view/165/158>
- Residuos COP. (2017). Aldrin – ResiduosCOP. Retrieved May 14, 2018, from <http://www.residuoscop.org/que-son-cop/aldrin/>
- ResiduosCOP. (2018a). Clordano – ResiduosCOP. Retrieved June 12, 2018, from <http://www.residuoscop.org/que-son-cop/clordano/>
- ResiduosCOP. (2018b). Diclorodifeniltricloroetano – ResiduosCOP. Retrieved June 12, 2018, from <http://www.residuoscop.org/que-son-cop/diclorodifeniltricloroetano/>
- ResiduosCOP. (2018c). Heptacloro – ResiduosCOP. Retrieved June 12, 2018, from <http://www.residuoscop.org/que-son-cop/heptacloro/>
- ResiduosCOP. (2018d). Hexaclorobenceno (HCB) – ResiduosCOP. Retrieved June 12, 2018, from <http://www.residuoscop.org/que-son-cop/hexaclorobenceno-hcb/>
- ResiduosCOP. (2018e). Toxafeno – ResiduosCOP. Retrieved June 12, 2018, from <http://www.residuoscop.org/que-son-cop/toxafeno/>
- Ritter, L., Solomon, K. R., & J.Forget. (1995). CONTAMINANTES ORGÁNICOS PERSISTENTES Informe de evaluación sobre: DDT, aldrina, dieldrina, endrina, clordano, heptacloro, hexaclorobenceno, mirex, toxafeno, bifenilos policlorados, dioxinas y furanos, 1–51.
- Rocha, B., Peralta, M., & Zavala, F. (2015). Global review of the problem of the emerging contaminants. PBDEs in Mexico, a particular case. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 31(3), 311–320. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/317438872\\_Global\\_review\\_of\\_the\\_problem\\_of\\_the\\_emerging\\_contaminants\\_PBDEs\\_in\\_Mexico\\_a\\_particular\\_case](https://www.researchgate.net/publication/317438872_Global_review_of_the_problem_of_the_emerging_contaminants_PBDEs_in_Mexico_a_particular_case)
- Rodriguez, A. P., & Ruiz, E. J. (2015). *ESTUDIO DE PROCESOS QUIMICOS PARA LA ELIMINACIÓN DE COMPUESTOS BIFENILOS POLICLORADOS (PCB) Trabajo de grado para obtener el título de Especialista en Planeación Ambiental y Manejo Integral de los Recursos Naturales. ESTUDIO DE PROCESOS QUIMICOS PARA LA E*. Universidad Militar Nueva Granada. Retrieved from <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/6391/3/RodriguezPovedaAdrianaPatricia2015.pdf>
- Rojas-Squella, X., Santos, L., Baumann, W., Landaeta, D., Jaimes, A., Correa, J. C., ... Ramos-Bonilla, J. P. (2013). Presence of organochlorine pesticides in breast milk samples from Colombian women. *Chemosphere*, 91(6), 733–739. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2013.02.026>
- Secretaría del Convenio de Estocolmo. (2010). *Los nuevos 9 COP*. Ginebra.
- Stockholm Convention. (2018a). Exemptions to the convention. Retrieved May 14,

- 2018, from  
<http://chm.pops.int/Implementation/Exemptions/Overview/tabid/789/Default.aspx>  
Stockholm Convention. (2018b). The 12 Initial POPs. Retrieved May 14, 2018, from  
<http://www.pops.int/TheConvention/ThePOPs/The12InitialPOPs/tabid/296/Default.aspx>
- Stockholm Convention Secretariat. (2017). *The 16 New POPs*.
- Varona, M. E., Díaz-Criollo, S. M., Lancheros-Bernal, A. R., Murcia-Orjuela, A. M., Henao-Londoño, G. L., & Idrovo, A. J. (2010). Organochlorine pesticide exposure among agricultural workers in Colombian regions with illegal crops: An exploration in a hidden and dangerous world. *International Journal of Environmental Health Research*, 20(6), 407–414. <https://doi.org/10.1080/09603123.2010.491855>
- Villa, S., Negrelli, C., Maggi, V., Finizio, A., & Vighi, M. (2006). Analysis of a firn core for assessing POP seasonal accumulation on an Alpine glacier. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 63(1), 17–24. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2005.05.006>