



LEARNING TOXICOLOGY
THROUGH OPEN EDUCATIONAL

Pentaclorofenol (PCF)

Ileana MANCIULEA, Lucia DUMITRESCU

Transilvania University of Braşov

i.manciulea@unitbv.ro, lucia.d@unitbv.ro



INTRODUCCION

El pentaclorofenol (PCF) es un compuesto orgánico aromático clorado utilizado como insecticida, fungicida, herbicida, desinfectante y aditivo en la pintura antiincrustante. El principal uso de PCF fue como conservante de madera, aplicado para proteger la madera contra la podredumbre de hongos y los insectos de taladrado de madera. El PCF también se ha utilizado como desgrasante antes de la cosecha en algodón, y como biocida en sistemas de agua industriales. El PCF fue liberado al medio ambiente como resultado de su fabricación, almacenamiento, transporte o uso. Su sal de sodio se utiliza para propósitos similares y se degrada fácilmente a PCF. Antes de 1984 (cuando se convierte en un plaguicida de uso restringido), el PCF fue uno de los biocidas más utilizados en los Estados Unidos (EPA, 2010). La producción de PCF y pentaclorofenato de sodio (NaPCP) cesó en la UE en 1992. Aunque PCF ya no se produce en los EE.UU., sigue siendo un producto químico de alto volumen, importado en los EE.UU. en cantidades de 1 millón de libras o más al año. En 2012, se informó que el PCF era fabricado por al menos seis compañías en todo el mundo, y la producción y las importaciones en los EE.UU. eran >1 millón a 10 millones de libras (EPA, 2013). Según el Toxics Release Inventory (TRI), el 54% de la liberación ambiental total, se descargó a la atmósfera desde la fabricación y las instalaciones de procesamiento en el PCF de EE.UU. también se pueden formar durante la incineración de materiales de desecho que contienen cloro. El PCF constituyó el 8% de fenoles policlorados formados en los gases de combustión y el 10% de los formados en el gas de chimenea durante la incineración de materiales de desecho que contenían cloro. El PCF también puede liberarse en emisiones de chimenea como resultado de la pirólisis del PVCs. (UNEP.POPS.POPRC, 2013). En el período 1980-1996, unas 37 toneladas de PCF por año se liberan de un incinerador de residuos municipales en Hungría (Kovács, G., 2002). El pentaclorofenol es



extremadamente tóxico para los seres humanos por la ingestión aguda (a corto plazo) y la exposición por inhalación. (RoC Monograf, 2014).

ESTRUCTURA Y PROPIEDADES DE PCF Y PCFNa

Durante la producción de PCF, las temperaturas elevadas y las presiones utilizadas en los procesos dan lugar a la formación de varias moléculas cloradas adicionales. Las concentraciones de estos subproductos pueden ser alteradas algo por cambios en las condiciones del proceso de fabricación, pero todas las formas comerciales de PCF contienen subproductos de su síntesis en cantidades detectables (WHO, 2010). El grado técnico PCF (86% puro) también contiene fenoles policlorados (tri- y tetra-) hexaclorobenceno dioxinas (tetra-, hexa- y octochloro-dibenzo-p-dioxinas) y hexa-, hepta- y octaclorodibenzo furanos (Collins, 2013), como subproductos de la fabricación. El PCF también es un producto principal del metabolismo del hexaclorobenceno en mamíferos.

Fórmula del pentaclorofenol (C₆HCl₅O).

Registro CAS: 87-86-5.

Fórmula del pentaclorofenato sódico (C₆Cl₅ONa).

Registro CAS: 131-52-2

En la Figura 1 se presentan la estructura química del pentaclorofenol y pentaclorofenato sódico

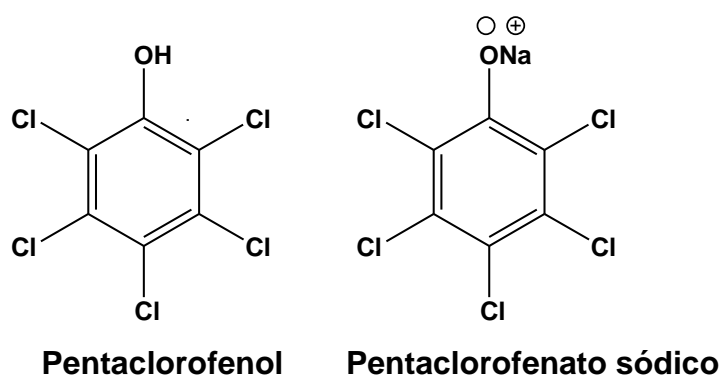


Figura 1. Estructura química del pentaclorofenol y pentaclorofenato sódico

En la Tabla 1. Se presentan algunas propiedades físicas del PCF

Tabla 1. Propiedades físicas del PCF

Propiedad	PCF
Peso molecular	266.35
Punto de fusión	188°C
Punto de ebullición	310°C
Presión de vapor (mm Hg)	0.0003 a 25°C
Densidad de vapo (aire = 1) 1.	1.98
Densidad	1.978 g/cm ³ a 22°C
solubilidad en agua	14 mg/l a 20°C
Coeficiente de partición octanol/agua (pKow)	5.12
Constante de la ley de Henry a 25 °C	2.45 10 ⁻⁸ atm/m ³ /mol a 22°C

Fuente: ChemIDplus 2013

El PCF puro existe como bronceado ligero a los cristales blancos a modo de aguja a temperatura ambiente. También conocido como clorofeno, penchlorol o penta, el compuesto es relativamente volátil, prácticamente insoluble en agua al pH generado por su disociación (pKa = 4,7) y soluble en la mayoría de los disolventes orgánicos (WHO, 2010). Las sales de PCF, tales como pentaclorofenato sódico, son fácilmente solubles en agua. El PCF de grado técnico consiste en escamas marrones; PCF de sodio de grado técnico consiste en cuentas de color crema. Las propiedades físicas y químicas del PCF sugieren una evaporación limitada a la atmósfera, miscibilidad limitada en el agua y asociación con las partículas del suelo. El movimiento de PCF en los suelos depende de la acidez del suelo.

PERSISTENCIA EN AGUA, SUELO Y SEDIMENTO

En el pasado, el PCF se distribuía omnipresente en el medio ambiente, como lo demuestran los niveles de agua superficial, subterránea, potable, ambiental y de interior, polvo, suelo, sedimentos y alimentos de varios países y períodos de tiempo (EPA, 2013) . El PCF se degrada rápidamente en el medio ambiente con estimaciones medioambientales de menos de 4 semanas en agua; menos de 20 semanas en el sedimento y menos de 10 semanas en el suelo. PCF es hidrolíticamente estable en agua a pH 4 a pH 9. La degradación química de PCF en agua se produce principalmente a través de foto-degradación. En las aguas superficiales, el PCF se degradará rápidamente cuando se exponga a la

luz directa del sol. La fotólisis de PCF en agua es un proceso dependiente del pH (EPA, Office of Water 2010). La rápida degradación se produce con el aumento del pH, cuando el compuesto se disocia. La forma ionizada es más sensible a la fotodegradación que la forma protonada. Se informó una degradación del 90% después de 10 horas en agua superficial a pH=7,3, respectivamente, una degradación del 40% a pH=3 después de 90 horas (Zheng, 2011). La fotólisis en agua determina la formación de compuestos orgánicos tóxicos tales como el ácido 2,3-dicloromaleico, el 2,3,5,6- y el 2,3,4,6-tetraclorofenol, el tetraclororesorcinol, el tetraclorocatecol, las benzoquinonas y las dioxinas (UNEP. POPRC, 2013). En el suelo, la madera tratada con PCF (utilizada como solución en productos a base de petróleo o como su sal sódica en una solución acuosa) puede liberar compuestos tóxicos por volatilización o lixiviación. El PCF puede ser foto-degradado en la superficie de la madera, haciendo que los compuestos degradados estén disponibles para la lixiviación. En suelo húmedo, la fotólisis puede producir 55% de fotodegradación de PCF durante 14 días. Se ha notificado una degradación máxima de 0,3-0,5 mg/kg/día en suelos que contienen 30 mg/kg de PCF y una tasa de degradación del 82% después de 7 meses. El PCF liberado en la atmósfera a partir de la madera tratada puede ser transportado de vuelta a las aguas superficiales y suelos mediante deposición húmeda y seca. El PCF atmosférico se transforma mediante fotólisis, mediante oxidación de radicales libres, con una vida media de 2 meses, en ausencia de agua. También se ha observado la fotólisis del PCF adsorbido o en estado de película en presencia de oxígeno. Los productos de reacción fueron similares a los encontrados en fotólisis acuosa. La adsorción de PCF a materia particulada atenuará la velocidad de este proceso en la atmósfera. El PCF liberado al aire puede ser transportado a distancias sustanciales (1.500 a 3.000 km, con una vida media en el entorno de aproximadamente 1,5 meses (Borysiewicz, 2008).

BIOACUMULACIÓN DE PCF

La bioacumulación de PCF en los organismos acuáticos es alta. Se han descrito factores de bioconcentración de 100-1000 y depende del pH, aumentando con la caída del pH. La toxicidad también depende del pH del sustrato ensayado. La investigación de la toxicidad aguda de PCF a pH=4, 6 y 9 en organismos vivos mostró que la toxicidad era máxima a pH=4 y mínima a pH=9. La diferencia en la toxicidad se atribuyó a las variaciones en el grado en que el PCF penetró en el organismo ensayado, ya que a pH=4 el PCF está en forma protonada y por lo tanto lipófilo. A pH=9, el PCF está completamente ionizado, lo que reduce tanto el potencial de penetración en los organismos como el potencial de efectos tóxicos (UNEP.POPS.POPRC, 2013). En cuanto a la bioacumulación de PCF en plantas, no se han encontrado datos fiables. Las propiedades físicas y químicas del PCF sugieren una evaporación limitada a la atmósfera, el desplazamiento del PCF al agua y la asociación con partículas orgánicas del suelo. La movilidad y volatilización del PCF a partir de la madera tratada en el ambiente depende de la acidez del medio y aumenta con la temperatura. En el aire, el PCF del suelo y de las aguas superficiales se somete a degradación por fotólisis, con semividas atmosféricas que van desde horas a semanas. El PCF se bioconcentra en organismos acuáticos y el valor de BCF aumenta con la caída del pH.

FUENTES DE EXPOSICIÓN

La exposición actual o pasada al PCF se puede correlacionar con su liberación durante la producción y particularmente durante el procesamiento y el uso, lo que resulta en la exposición ocupacional tanto a los trabajadores como al público en general. Las fuentes de exposición a los trabajadores en el pasado incluyeron: 1) plantas de producción; 2) instalaciones de tratamiento de la madera; y 3) contacto durante el uso o eliminación de la madera tratada, por contacto dérmico con la sustancia o con madera / inhalación del aire del lugar de trabajo afectado. La exposición ocupacional a PCF todavía ocurre para los trabajadores que tratan madera o entran en contacto con la madera tratada en

sus actividades de trabajo y contacto durante el uso o eliminación de la madera tratada o desechos. Se ha observado la eliminación/reducción de vidas medias de PCF entre 4 y 72 días (UNEP, 2016). Los subproductos de la síntesis de PCF, tienen semividas de eliminación de hasta 10 años (Collins, 2013). La exposición al PCF es generalizada para las personas debido a su presencia y persistencia en el medio ambiente. Esta exposición ha sido determinada por las mediciones de los niveles de PCF en la sangre, el hígado, el cerebro, los riñones, el bazo y la grasa corporal y refleja más exposición a largo plazo (RoC Monograf, 2014). La disminución de la exposición desde el período de 30 a 40 años o más hasta el presente es consistente con las medidas adoptadas por la EPA para restringir el uso de PCF como conservante de la madera, cancelando y restringiendo los usos no madereros en 1987. Las principales vías de exposición el público en general es a través de la inhalación de aire, la ingestión de alimentos y otras fuentes potenciales. Las liberaciones de PCF pueden deberse a la presencia de madera tratada en el medio ambiente, así como a las liberaciones que ocurren durante la producción, procesamiento y uso en el tratamiento de productos de madera. En los alimentos PCF se encontró en los niveles de 0,01 a 0,02 ppm en jamón, (curado o al horno), pollo asado al horno (piel removida), carnes, pescado, productos lácteos, granos y verduras. También se han identificado altos niveles de exposición a personas que viven en casas de troncos u otras casas tratadas con PCF y la exposición para el público en general a PCF de sitios de polvo y desechos peligrosos (FDA, 2006). PCf se ha detectado en el suministro de agua potable, así como en las aguas subterráneas y superficiales (Zheng, 2011). En el aire, el suelo y las aguas superficiales PCf dura de horas a días. La cloración de compuestos fenólicos durante el tratamiento del agua produjo niveles detectables de PCF y, además, se sabe que los plaguicidas comunes como el lindano, los HCH, los PCBs, etc. se metabolizan en PCF por plantas, animales y microorganismos. El PCF es un contaminante ambiental importante incluso en los países donde el uso ha sido abandonado porque se importa a través de materiales tratados con PCF. La población también puede estar expuesta al PCF a partir de tejidos

tratados, cuero y productos de papel y, sobre todo, por inhalación de aire interior contaminado. El PCF se metaboliza en otras moléculas y por lo tanto su ausencia en tejidos animales no es concluyente; por otro lado, es un producto principal del metabolismo de HCH y otros plaguicidas comunes en mamíferos. Estudios en seres humanos y animales experimentales muestran que la PCF se absorbe después de la exposición oral, por inhalación o por vía dérmica. Aunque el PCF está ampliamente distribuido, la acumulación en los tejidos parece estar limitada por la unión extensiva a proteínas plasmáticas en ratas y humanos (RoC Monograf, 2014). Los estudios de distribución de tejidos en animales experimentales muestran que las concentraciones más altas se encuentran en los órganos asociados con el metabolismo y la excreción e incluyen el hígado, la vesícula biliar, los riñones y el tracto gastrointestinal. El PCF se excreta principalmente en la orina, ya sea sin cambios o como metabolitos. En los Estados Unidos, los niveles son generalmente más bajos que hace tres o cuatro décadas (antes de que el uso del PCF fuera restringido en los años ochenta). PCF en el rango de 10s a 100s de microgramos por litro en sangre y generalmente alrededor de 10 mg/L en orina fueron reportados para personas que viven en los Estados Unidos en estudios publicados durante 1960s y 1980s (Zheng, 2011).

PELIGRO PARA LA SALUD

Toxicocinética. El PCF es rápidamente y completamente absorbido por el tracto digestivo. Después de entrar en la sangre, donde se combina al menos en parte con las proteínas plasmáticas, las concentraciones más altas de PCF se encuentran en el hígado, los riñones y el cerebro, pero la tendencia a la bioacumulación sigue siendo muy baja. Los resultados de estudios en seres humanos y animales indican que el PCF no se metaboliza ampliamente. Para las diferentes especies (incluidos los seres humanos) y la ruta de exposición, la principal vía de eliminación del PCF es la orina y por medio de las proteínas

plasmáticas. En los seres humanos, PCFNa tiene una vida media de 30 horas en el plasma (RoC Monograph, 2014).

Con respecto a los efectos sobre la salud humana, los datos experimentales relacionados con el PCF están bien documentados para las exposiciones crónicas de dosis bajas a dosis bajas e indican un impacto en el hígado caracterizado por cambios bioquímicos, funcionales e histopatológicos; impacto en el sistema inmunológico; alteración significativa de los niveles de hormona tiroidea en exposiciones de 1 ó 2 mg/kg peso/día (RoC Monograf, 2014). Los datos sobre los trabajadores expuestos ocupacionalmente confirman los efectos sobre el sistema inmunológico y el hígado. La caracterización de la salud del PCF indica un potencial para una serie de efectos en la salud humana asociados con la exposición crónica de bajo nivel a través de la vía oral, como resultado de la exposición ocupacional. El PCF introducido en el medio ambiente tiene el potencial de TAPLA y puede llegar a alimentos humanos y agua potable (UNEP, 2016.) El PCF es extremadamente tóxico para los seres humanos por la exposición aguda (a corto plazo) y la inhalación. Las exposiciones agudas por inhalación en seres humanos han resultado en efectos neurológicos, de sangre y de hígado, e irritación ocular. La exposición crónica a largo plazo al PCF por inhalación en seres humanos ha producido efectos en el tracto respiratorio, la sangre, los riñones, el hígado, el sistema inmunológico, los ojos, la nariz y la piel. Los estudios en humanos no son concluyentes con respecto a la exposición a PCF ya los efectos reproductivos. Los estudios en humanos sugieren una asociación entre la exposición al PCF y el cáncer. EPA clasificó PCF y PCFNa como un grupo B2, probable carcinógeno humano (EPA, 2010). En general, los datos de monitoreo para el PCF en las matrices abióticas (aire, suelo y agua) muestran una tendencia decreciente probablemente debido a las acciones regulatorias globales (prohibiciones, restricciones y regulaciones) que se han puesto en práctica (UNEP, 2016).

REFERENCIAS

1. [Borysiewicz, M. 2008](#). Risk Profile of PCP. Institute of Environmental Protection, Poland. Dossier prepared in support of a proposal of PCP to be considered as candidate for inclusion in the Annex I to the Protocol to the Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution on POPs. (LRTAP Protocol on POPs).
2. [Collins J.J. 2013](#). Occupational studies of workers in PCP production.
3. [EPA, 2010](#). Toxicological Review of PCP in Support of Summary Information on the Integrated Risk Information System (IRIS). EPA Report No. EPA/635/R-09/004F. Washington, DC: U.S.
4. [EPA, Office of Water 2010](#). U.S. Environmental Protection Agency. *Drinking Water Glossary: Surface Water*. U.S. EPA, Office of Water.
5. [EPA, 2013](#). TRI Explorer Chemical Report. U.S. EPA. Last updated: 7/8/13. <http://www.epa.gov/triexplorer> and select Pentachlorophenol.
6. [FDA, 2006](#). Total Diet Study Market Baskets 1991-3 through 2003-4. U.S. Food and Drug Administration.
7. [Kovács, G. \(2002\)](#) Monitoring and releases of POPs. 2002. (http://irptc.unep.ch/pops/POPs_Inc/proceedings/slovenia/KOVACS.html).
8. Report on Carcinogens ([RoC Monograph](#)) on PCP and By-Products of Its Synthesis. National Toxicology Program. National Institute of Environmental Health Sciences U.S. Department of Health and Human Services, 2014.
9. [UNEP. POPs. POPRC 2013](#). Stockholm Convention on POPs. PCP and its salts and esters. (2013).
10. [UNEP, 2016](#). Draft technical guidelines on the environmentally management of wastes consisting of, containing or contaminated with PCP and its salts and esters, 2016.
11. [WHO, 2010](#). Pentachlorophenol, Geneva, World Health Organization, Environmental Health Criteria.

12. Zheng W, Wang X, Yu H, Tao X, Zhou Y, Qu W., 2011. Global trends and diversity in PCP levels in the environment and in humans: a meta-analysis. *Environ Sci.Technol* 45(11), 2011.





**VNiVERSiDAD
D SALAMANCA**

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITA DI BOLOGNA



South-Eastern Finland
University of Applied Sciences

U. PORTO



**Universitatea
TRANSILVANIA
din Braşov**



**UNIVERZITA
KARLOVA**



ИКИТ

<https://toxoeer.com>

Project coordinator: Ana I. Morales
Headquarters office in Salamanca.
Dept. Building, Campus Miguel de Unamuno, 37007.
Contact Phone: +34 663 056 665



This work is licensed under a Creative
commons attribution – non commercial 4.0
international license