

ARTÍCULO

LA CONTROVERSI A DEL CARBOFURANO

NESTOR MARIANO SANTUCHO WEIMER

Trabajo monográfico presentado durante el Curso de Toxicología y Química Forense – 2012- En calidad de análisis y glosa del artículo intitulado:

The carbofuran controversy, Chemistry and Industry, No. 2 del 1 de febrero de 2012

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales – Universidad de Belgrano

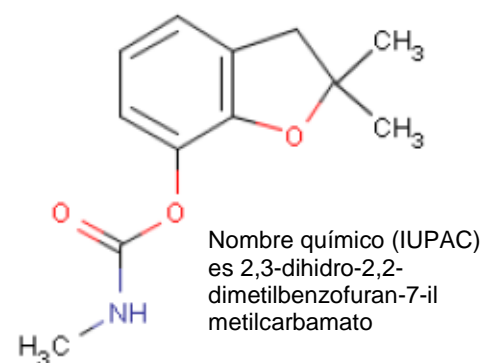
Introducción

El Carbofurano es un pesticida de amplio espectro, perteneciente a la familia de los N-metil carbamatos. Fue manufacturado y comercializado por la corporación norteamericana FMC, en la década del 60, bajo el nombre de *Furadan*, en reemplazo de los pesticidas organoclorados altamente persistentes.

Según la OMS se clasifica como una sustancia del grupo 1B, lo que significa “altamente peligroso”, y según ensayos de oncogénesis en ratas como “No Probablemente Carcinogénico para Humanos”. Si bien no aparenta ser mutagénico, estudios toxicológicos en ratas han revelado que a diferentes dosis, se tienen diferentes porcentajes de inhibición de la enzima colinesterasa que, como se verá más adelante, es la encargada de regular la transmisión de los impulsos nerviosos en seres humanos, mamíferos, aves e insectos. La inhibición de la enzima es la raíz de los impactos en la salud humana y en la vida salvaje, que serán objeto del presente estudio.

Propiedades fisicoquímicas:

- ❖ Inodoro
- ❖ Sólido cristalino con rango de fusión 150-154°C
- ❖ Altamente soluble en solventes orgánicos
- ❖ Relativamente soluble en agua
- ❖ Estable en medios de pH < 7.



Aplicaciones principales

Su creación tuvo como objeto el *control de las plagas de insectos en una amplia variedad de cultivos* incluyendo: caña de azúcar, maíz, sorgo, café, cereales, arroz, entre otros; además de las frutas y hortalizas. Bajo este principio, se difundió en muchos países del mundo, hacia mediados de la década del 80, como ingrediente activo de los productos agrícolas “protectores de cultivos”.

Los productos que contienen Carbofurano como ingrediente existen en tres formulaciones: líquida, a base de silica y granular. La primera es la más frecuente, mientras que las demás fueron diseñadas para permitir que dicho ingrediente sea absorbido, a una velocidad relativamente lenta, en las raíces de

los cultivos en desarrollo. Al ser absorbido es transportado por la savia, de modo que los insectos plaga consumidores de los tejidos vegetales, sean envenenados.

No obstante debido a sus propiedades de inodoro e incoloro, y a su bajo costo, la utilización del Carbofurano se ha extendido más allá de lo planificado. Según el reporte audiovisual *60 minutes* se ha empleado como *veneno para aves de presa, y mamíferos carroñeros y depredadores*, considerados como organismos competidores en las prácticas de cacería. Por lo tanto esta aplicación, difundida en muchas regiones del mundo, tuvo como objeto facilitar dichas prácticas, a expensas de la mortandad de las especies cazadoras. Es el caso de Kenia, donde en 2009 se documentó el empleo deliberado de Furadan para envenenar leones, condenando a su población a una posible extinción dentro de los siguientes 5 años. El uso de la sustancia tuvo repercusión en las poblaciones de carroñeros (buitres, hienas, etc.) que desempeñaban un papel importante en el equilibrio de los ecosistemas. Y, además, en la población de insectos polinizadores.

A estos ejemplos se le suman las muertes de elefantes y leopardos en la India. En Europa el envenenamiento de aves de presa, nutrias y predadores, para *fomentar la industria de la cacería ya sea facilitando las prácticas rudimentarias*, o bien con la intención de *proteger ciertas especies de interés comercial* (ej. los urogallos en Inglaterra), *para después ser mejor explotadas*.

Otras prácticas, no menos nocivas, han sido: el empleo de sebos (impregnados con Carbofurano), para *el control de plagas de aves* en los cultivos de arroz, que produjo mortandad de aves locales y migratorias; *el rociado del producto en los cursos de agua para facilitar la pesca*.

¿Cómo contribuyen las propiedades fisicoquímicas a su movilización entre las esferas ambientales?

- Su *solubilidad en agua*, aunque no tan elevada, le confiere *el potencial suficiente de contaminación inmediata de una gran variedad de recursos hídricos*. Es de esta manera como las inundaciones de los campos fumigados con Furadan, han causado mortandad de especies que no eran objeto de control.
- La combinación de esta propiedad con su baja adsorción en suelos, le permite tener alta movilización y alcanzar las napas freáticas.
- Su *estabilidad a pH < 7*, dada por sus *grupos funcionales* indican que es un *contaminante persistente* en suelos neutros o ácidos, mientras que se hidroliza en suelos alcalinos.

La gran persistencia del Carbofurano, análoga a la de muchos pesticidas de su familia, se traduce en *tiempos de degradación muy prolongados*, y por ende, en *efectos adversos* a largo plazo sobre los ambientes cercano y lejano al punto de aplicación. Estos efectos consisten en:

- *Transferencia continua hacia los distintos niveles de la cadena trófica*: implica la *exposición crónica de la población* que consume los alimentos en los que se ha acumulado el contaminante. De ahí surge la urgente necesidad de evaluar los riesgos de ingestión de los pesticidas carbamato en alimentos cárnicos y pescados.
- *Desarrollo de resistencia en los organismos plaga y la aparición de nuevas plagas o de plagas secundarias*.
- *Contaminación irreversible de los suelos y el agua de pozos*.

Controversias relativas al uso del Carbofurano.

Si bien los fabricantes del pesticida afirman que la seguridad del producto está dada por su uso apropiado, siguiendo las instrucciones impresas en el rótulo del envase; el reportaje afirma que las mismas se basan en la suposición de que la vida salvaje no está presente en las áreas donde se desarrolla la agricultura. Además los trabajadores de las granjas suelen usar las formulaciones sin la protección adecuada y sin la capacidad de seguir las instrucciones.

La FMC afirma además que el uso del pesticida es fundamental para la prosperidad de los cultivos. Sin embargo la EPA¹ concluyó en el Informe de Re-inscripción 2006, junto con el cuerpo regulatorio canadiense PMRA², que *los riesgos para el ambiente y las personas sobrepasan los beneficios ofrecidos*. Se logró en 2010 establecer como prohibición el vertido de residuos con contenido de Carbofurano, y la cancelación de cualquier formulación o uso del producto dentro de los EEUU. No obstante *FMC y las industrias alimenticias, desafían continuamente las decisiones regulatorias*. Convencen a los tribunales federales de la Corte Suprema, para que permitan el ingreso de ciertos productos importados con contenido del pesticida.

Es de esta manera como el empleo de Carbofurano: en tareas agrícolas y como veneno para la vida salvaje; continúa alrededor del mundo, y de manera ilegal. Su prohibición, acompañada de controles apropiados, es una medida que puede erradicar la amenaza de la extinción de especies. Pero, no está dirigida a la raíz del conflicto entre el ser humano y la vida salvaje. El *crecimiento poblacional* y la *demanda de recursos naturales y vida silvestre* para su posterior explotación, *alimentan éste conflicto y sustenta la batalla regulatoria* entre las entidades de protección ambiental y las que fabrican pesticidas.

Causas de envenenamiento: los fundamentos bioquímicos e histológicos a considerar

El envenenamiento no solo se presenta en los insectos, como inicialmente se pensaba. Debido a los usos inadecuados y a su movilización entre las distintas esferas ambientales, se ha presentado en aves, mamíferos y seres humanos (consumidores de agua y alimentos contaminados).

El *mecanismo* de envenenamiento radica en un fenómeno clave: *la inhibición de la acetil-colinesterasa*, una enzima involucrada en todas las respuestas fisiológicas del organismo. La acetilcolinesterasa se encuentra ubicada, en altas concentraciones, entre terminaciones de nervios, y su misión es intervenir en la transmisión normal de impulsos.

Cada par de terminaciones nerviosas es un contacto de dos membranas celulares que: guardan una relación de contigüidad, y se encuentran separadas por un espacio conocido como "sinapsis". De ahí reciben el nombre de membrana pre-sináptica y membrana pos-sináptica. El contacto puede ser:

- entre terminaciones neuronales
- entre una terminación neuronal y la de una célula muscular
- entre una terminación neuronal y una glándula.

¹ US Environmental Protection Agency

² Pest Management Regulatory Agency

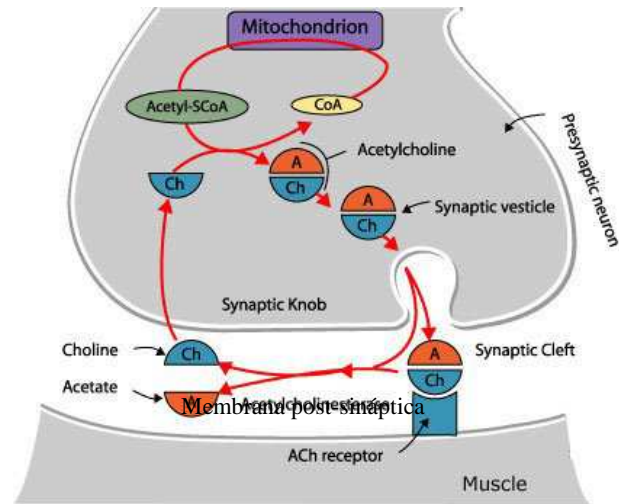
- entre terminaciones motoras de células musculares.

Las neuronas o células nerviosas son la unidad funcional del tejido nervioso. Están compuestas por un cuerpo (que contiene el núcleo) y muchas prolongaciones de longitudes variables, que se especializan en conducir los impulsos eléctricos del organismo en respuesta a los estímulos recibidos. Pueden entrar en contacto con otras neuronas, o bien inervar los tejidos musculares (esquelético, liso y cardíaco), o el epitelio glandular.

¿Cómo se transmiten los impulsos nerviosos en respuesta a un dado estímulo?

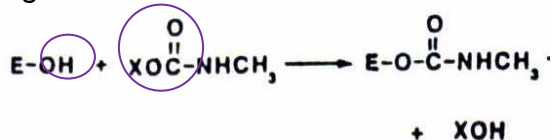
Dado un impulso eléctrico que circula a través de una célula nerviosa:

- La membrana pre-sináptica se despolariza, lo que provoca la apertura de canales iónicos
- Entran iones Ca^{2+} , y como se muestra en el esquema, el aumento de su concentración hace que las vesículas del Neurotransmisor **Acetilcolina (ACh)** se unan a la membrana, y **liberen por exocitosis** dicho compuesto en el espacio sináptico.
- En la membrana post-sináptica, están los **receptores** a los que se une la **molécula neurotransmisor ACh**. La unión provoca la apertura de los canales iónicos en esta membrana.
- La entrada de Ca^{2+} y de otros cationes, produce su despolarización y excitación. Este fenómeno permite la propagación del impulso por la segunda célula nerviosa hasta la siguiente.
- El neurotransmisor **ACh** es **rápidamente inactivado** por la enzima acetilcolinesterasa (presente en la terminación post-sináptica) **por hidrólisis a colina y ácido acético**.
- La colina difunde por la membrana pre-sináptica de la neurona, y puede ser utilizada para la síntesis de nuevas moléculas de neurotransmisor. El ácido acético difunde a la sangre.

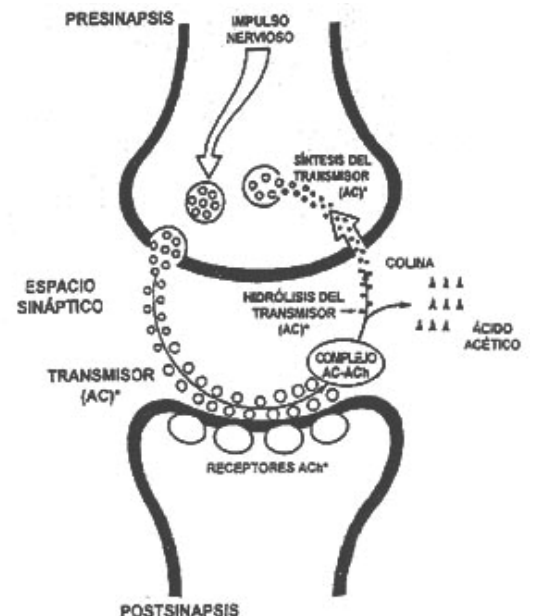


Es de esta manera como la terminación pre-sináptica se repolariza, es decir, se prepara para la llegada de un nuevo impulso nervioso. Por lo tanto, **la enzima acetil-colinesterasa** es una proteína crucial que **asegura la continuidad y regularidad en la transmisión de los impulsos**. Permite que los impulsos sean transmitidos en forma continua, regulada y sincrónica.

La inhibición enzimática del Carbofurano (un éster carbamato) se representa por medio de la siguiente reacción:



Interacción con el grupo OH en el Centro Activo de la Enzima



· AC = ACETILCOLINA
- AChE = ACETILCOLINESTERASA

Acumulación de neurotransmisor ACh en los receptores post-sinápticos



Sintomatología		
En receptores muscarínicos	En receptores nicotínicos	En receptores del SNC
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bronco-constricción y secreciones bronquiales ▪ Aumento de la salivación y el lagrimeo, ▪ Problemas gastrointestinales: peristaltismo, náuseas, vómitos, diarreas ▪ Braqui-cardias que pueden progresar hasta el bloqueo cardíaco ▪ Constricción de pupilas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ debilidad muscular ▪ tic involuntarios, gesticulaciones y calambres ▪ vaso constricción. ▪ Depresión respiratoria 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ tensión, insomnio, ▪ inestabilidad emocional ▪ neurosis y confusión, ▪ convulsiones ▪ depresión de los centros respiratorio y circulatorio, pudiendo llegar a coma y muerte.

Discusión y conclusiones

El riesgo de intoxicación por Carbofurano, que puede extenderse a otros compuestos de la misma familia y a los organofosforados, radica en su solubilidad en agua, su baja adsorción en suelos y su estabilidad a pH menor a 7. Tales propiedades fisicoquímicas son determinantes de su alta movilización hacia los cursos de agua superficial y subterránea, su elevada persistencia en suelos neutros o ácidos, y su transferencia entre los distintos niveles de las redes tróficas.

La principal implicancia es la exposición de la población que consume el agua de pozos y los alimentos básicos: carnes, pescados, frutas, hortalizas, caña de azúcar, cereales, granos de café. A grandes superficies de terreno cultivado se les aplicó el pesticida, con la premisa de proteger a las cosechas de las plagas de insectos y roedores.

En conclusión, estrategias a llevar a cabo para resolver la problemática del Carbofurano y otros pesticidas organofosforados o de la misma familia, pueden consistir en:

- Abolir su uso en las prácticas de caza y pesca, no permitiendo su comercialización en tiendas accesibles a la gente residente en zonas urbanas. De esta manera, aquellos que se dedican a estas prácticas, no tienen la posibilidad de emplearlos, como estrategia de protección de especies de interés comercial para facilitar una mejor explotación de las mismas.

- Disminuir su frecuencia de uso en cultivos, reemplazándolos por otros medios de protección posibles. Podrían ser:
 - Medios físicos o mecánicos:
 - Pueden utilizarse redes firmemente sujetadas, de material adecuadamente resistente, colocadas sobre los cultivos, de manera que los mismos no resulten consumidos por plagas de aves.
 - Pueden colocarse bolsas de plástico en los frutos, para evitar que los insectos tomen contacto con ellos.
 - Pueden armarse trampas: una de las cuales, consiste en colocar cintas impregnadas con aceite o manteca para que los insectos plaga se peguen.
 - Medios biológicos: Radican en identificar los insectos plaga, responsables de la disminución de la calidad de los cultivos, y por ende el mal rendimiento económico. En base al estudio de identificación realizado, favorecer la proliferación de determinados “insectos benéficos” (son ej. los escarabajos, arañas, avispa, tijeretas, langostas, etc.), para que se alimenten de los “insectos perjudiciales” identificados y disminuyan su población. A menudo, suele ser necesario intercalar especies vegetales que atraigan a los benéficos (ej. la manzanilla es conveniente para la reproducción de las arañas). Otra alternativa puede consistir en emplear especies de reptiles como lagartijas y sapos que se alimentan de insectos.
- Promover la rotación de los cultivos: si en una cosecha se siembra un cultivo, en la próxima debe sembrarse otro diferente, para impedir que una plaga permanezca en la plantación por mucho tiempo. Al cambiar los cultivos, la plaga pierde su fuente de alimentación principal, su ciclo de vida se acorta y deja de reproducirse.
- Sembrar plantas aromáticas repelentes: son ejemplos menta, citronella, hierba-buena, etc. Ahuyentan las plagas, e incluso pueden tener valor comercial.
- Practicar la poda: eliminar las partes dañadas de las plantas, para evitar la propagación de la enfermedad en la plantación.

Referencias bibliográficas:

- ❖ **US Environmental Protection Agency, Reregistration Eligibility decision for Carbofuran**
- ❖ www.uah.es Artículo *La toxicidad de los carbamatos y organofosforados*

- ❖ www.unmsm.edu.pe Artículo *Niveles de colinesterasa sérica en agricultores de la localidad de Carapongo (Perú) y determinación de residuos de plagicidas inhibidores de la Acetilcolinesterasa en frutas y hortalizas cultivadas*. Milla Cotos, Oscar Manuel; Palomino Horna, William Rodolfo