

A top-down view of various pharmaceuticals including white round tablets, a white capsule, a red oval pill, and several translucent gel capsules in yellow and orange, all set against a bright yellow background.

¿Por qué los fármacos son contaminantes del ambiente?

Dra. Araceli Tomasini¹
César Macías Paredes²

¹Departamento de Biotecnología, División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Iztapalapa.

²Licenciatura en Ingeniería Bioquímica Industrial del Departamento de Biotecnología, División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Iztapalapa.

Resumen

En este estudio se explica brevemente que los compuestos activos farmacéuticos (CAFs) son las moléculas que contienen los medicamentos. Se menciona de donde se obtienen y el beneficio de estos compuestos en la vida actual. En realidad, ya es impensable imaginarnos la vida sin la ayuda de los medicamentos, ya que sirven para curar, tratar, controlar enfermedades y molestias. Se menciona cual es la vía que siguen los CAFs dentro del organismo humano y /o animal hasta ser excretado y finalmente el destino de estos compuestos hasta llegar a fuentes naturales de aguas. Finalmente se explica porque la presencia de estos compuestos en las fuentes de aguas naturales se consideran contaminantes. Se menciona la toxicidad que causan los CAFs a diversas especies de organismos acuáticos, como malformaciones, problemas de reproducción e incluso la muerte.

Abstract

This study briefly explains that the pharmaceutical active compounds (PhACs) are the molecules that contain the medicines. It is mentioned where they are obtained from and the benefit of these compounds in today's life. In fact, it is unthinkable to imagine life without the help of medicines, since they are used to cure, treat, control diseases and pain. It is mentioned which is the pathway that PhACs follow within human and/or animal organisms until they are excreted and finally the fate of these compounds until they reach natural water sources. Finally, it is explained why the presence of these compounds in natural water sources are considered pollutants. The toxicity caused by PhACs to various species of aquatic organisms is mentioned, such as malformations, reproductive problems and even death.

Introducción

Los fármacos o medicamentos son productos de amplio uso humano y veterinario, para curar o controlar enfermedades. Estos medicamentos contienen, en su formulación, compuestos activos farmacéuticos (CAFs) que son los encargados de combatir infecciones, curar, modificar el metabolismo cuando este es alterado, eliminar el dolor, etc. Los CAFs son moléculas diseñadas con el fin de mantener su estructura química por periodos de tiempo muy largos, para ejecutar su función terapéutica dentro de los organismos. Por esta razón dichos compuestos son recalcitrantes, es decir son persistentes, no biodegradables y por la tanto bioacumulables o acumulables en el ambiente. En este artículo nos enfocaremos a explicar cómo los CAFs se convierten en contaminantes en el ambiente.

Compuestos Activos de los Productos Farmacéuticos

Los compuestos activos farmacéuticos (CAFs) son las moléculas que actúan dentro del organismo para tratar una enfermedad o dolor. Los CAFs son moléculas con estructuras químicas muy diversas. Una característica importante de estos compuestos es que son muy resistentes, es decir conservan su estructura y función por mucho tiempo. Esto ha permitido que los medicamentos tengan un tiempo de 24 meses o más de anaquel, es decir que duren mucho tiempo antes de su venta y uso. Los medicamentos son producidos en sus diversas presentaciones, vía oral (jarabe, tabletas, cápsulas), inyectable, cutánea (cremas, ungüentos) externa (soluciones oftálmicas, óticas) todos ellos llevan el compuesto activo y dependiendo de la presentación y hacia dónde va dirigido contiene otras sustancias que le dan características específicas de liberación en el

organismo, adsorción en diferentes órganos, distribución por vía sanguínea, hasta que es excretado y sale del organismo.

Los compuestos con actividad farmacéutica se han utilizado desde épocas antiguas, para aliviar el dolor y tratar de curar las enfermedades. Inicialmente se usaban plantas y o sus extractos que poseían propiedades específicas para dolores y ciertos males.

Con el avance de la ciencia y la tecnología se fueron conociendo los compuestos que contenían estas plantas, conocidos ahora como los principios activos. También se empezaron a conocer muchos otros compuestos con propiedades importantes, producidos por microorganismos. A partir de estos avances, en la actualidad los CAFs se obtienen mediante tres procesos, los que se producen directamente por microorganismos o se extraen de planta, los obtenidos por biosintéticos y los producidos por síntesis química.

1. Naturalmente, muchos de los CAFs son producidos por microorganismos, es decir por biotecnología, como es el caso de los antibióticos o por plantas como los esteroides.

2. Biosíntesis química, algunos son biosintetizados, en este caso se utiliza una molécula obtenida naturalmente por algún microorganismo, a esa molécula se le hace alguna modificación química y se obtiene otro CAF distintito al original.

3. Por síntesis química, este proceso consiste en sintetizar algún compuesto con actividad farmacéutica, generalmente se busca reproducir alguno que ya existe en la naturaleza, con algunas modificaciones en su molécula. Son moléculas sintetizadas por reacciones químicas y con aplicación farmacéutica.

Beneficios de los fármacos

Los fármacos han ayudado a evitar la muerte de millones de personas, actualmente es impensable una vida sin estos compuestos ya que brindan bienestar y mejoran la calidad de vida de las personas al controlar o curar muchas enfermedades y quitar dolor o molestias físicas. También han tenido un papel importante en el incremento de la vida media de las personas, en México la esperanza de vida en 2016 fue de 78 años para las mujeres y de 73 años para los hombres (Quiroga, 2020).

Los fármacos. Así mismo han ayudado a la economía de los agropecuarios dedicados a la cría de animales para consumo humano. Los fármacos son administrados para mantener sanos a los animales y evitar pérdidas económicas (Valladares et al., 2019).

El consumo de productos farmacéuticos a nivel mundial ha aumentado con el transcurso de los años. En un estudio Pérez & Quiroga (2013) reportaron los datos indicadores de la industria farmacéutica en México en el año 2012, el consumo fue de 13,663 millones de dólares representando un porcentaje menor al de 3.3% del consumo mundial. Este valor es muy bajo en comparación con países como: China, Estados Unidos, Japón, Francia y Bélgica, los cuales representan aproximadamente el 63% del consumo mundial. Se pronosticó que para el año 2020 a nivel global se llegará a 2,184 miles de millones de dólares. Los países desarrollados tienen mayor acceso y por lo tanto consumo de medicamentos en comparación con países menos desarrollados, como en Latinoamérica, donde el consumo de los fármacos es limitado debido al alto costo de estos productos.

El consumo mundial de estos compuestos aumenta cada año, debido al incremento

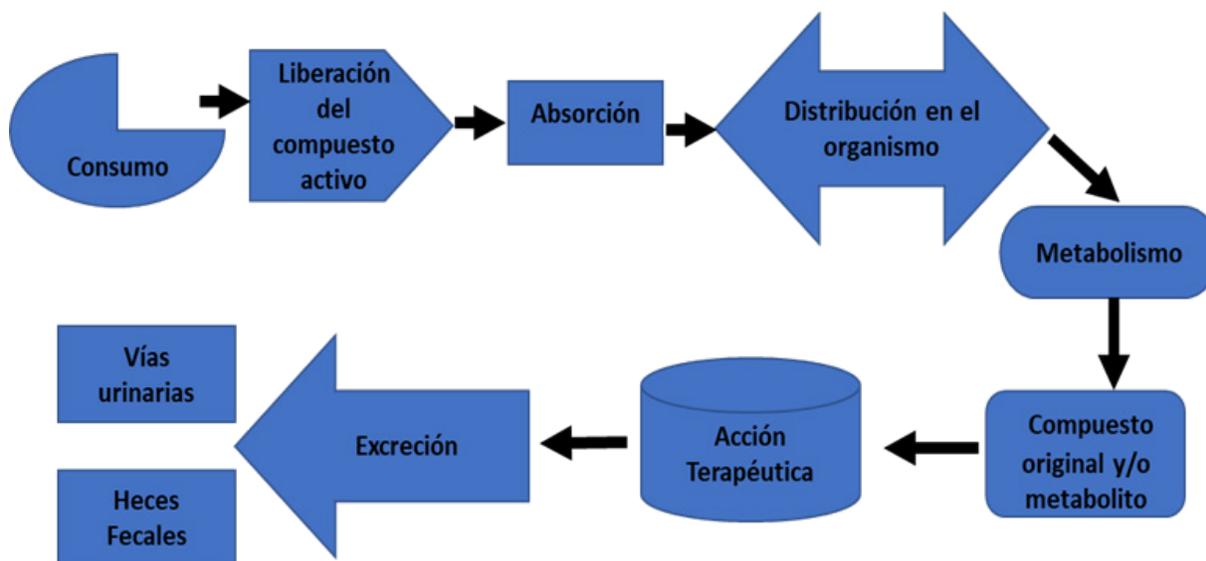


Figura 1. Ruta del principio activo farmacéutico del medicamento desde que es ingerido por el humano hasta que sale del organismo.

de la población y de la cría de animales, lo que ha ocasionado un problema de contaminación ambiental reciente.

Existe gran variedad de CAFs, y se agrupan de acuerdo con su uso terapéutico por ejemplo analgésicos/antiinflamatorios, antibióticos, anticancerígenos, psiquiátricos, hormonas, antihipertensivos, reguladores de lípidos, anti-diuréticos, anti-epilépticos, anti-diabéticos, radiología de contraste, antivirales, anti-histamínicos, entre otros. Todos son usados ampliamente y ayudan a mejorar la calidad de vida actual de la población mundial.

Los fármacos dentro del organismo y su eliminación

Los medicamentos pueden ser administrados de varias formas, las más comunes son por vía oral, intramuscular, intravenosa y cutánea. Dentro de los organismos los CAFs son distribuidos por el torrente sanguíneo, metabolizados, absorbidos y excretados. En la figura 1 se muestra la ruta que siguen los CAFs en el organismo humano, desde su consumo hasta la excreción.

Ya liberado el fármaco dentro del organismo es absorbido y distribuido hasta alcanzar el objetivo terapéutico. El compuesto activo puede actuar directamente o bien ser metabolizado para producir un compuesto con mayor actividad, y así llevar a cabo la acción terapéutica. Una vez que ya realizó esta acción, se eliminan por medio de los órganos que metabolizan y excretan los fármacos, el hígado y los riñones. Por último, los CAFs o sus metabolitos producidos durante el metabolismo, después de realizar su acción terapéutica los CAFs, son liberados del organismo a través de las vías urinarias, sudor, saliva y heces fecales, como se muestra en la figura 1 (Armijo, 2014).

Los Fármacos como contaminantes del ambiente

Los fármacos presentes en las aguas residuales, como contaminación, provienen principalmente del consumo humano, del consumo animal, ya sea veterinario y/o cría de animales como alimento para el hombre, y de los medicamentos cuya fecha de caducidad venció. También las industrias que producen los

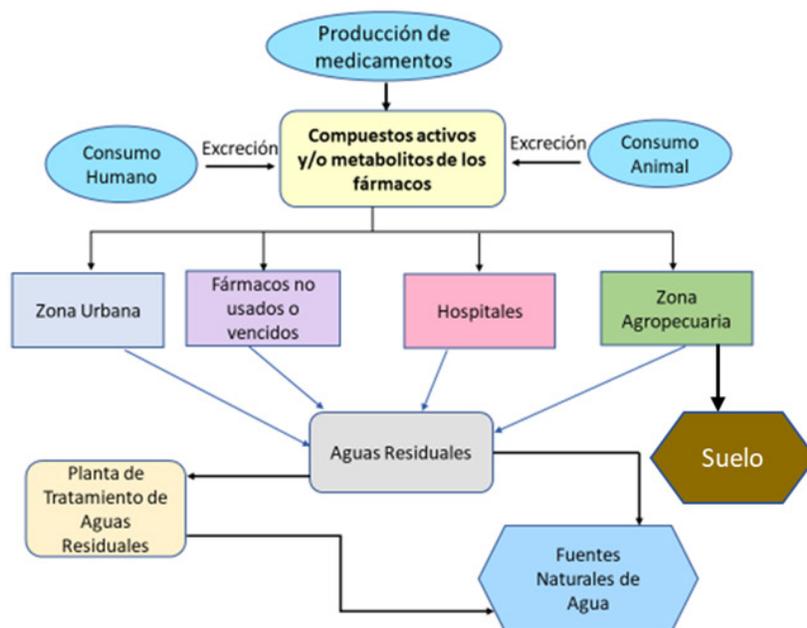


Figura 2. Origen y destino de los fármacos en el medio ambiente

CAFs o las farmacéuticas que las envases pueden ser fuentes de contaminación, aunque estas a niveles muy bajo, prácticamente no desechan estos compuestos por el estricto control de calidad que manejan (Figura 2).

En las zonas urbanas los CAFs, al ser eliminados por los humanos y animales (uso veterinario), llegan a las aguas residuales (Figura 1). También los medicamentos que desechamos, porque ya no los utilizamos o están caducos se van a la basura y o directamente al caño. Los que se tiran al caño llegan directamente a las aguas residuales, los que están en la basura llegan al suelo, por lixiviación que es la fase líquida de la basura y pueden llegar a aguas profundas. Las aguas residuales pueden ser tratadas o descargadas directamente a las fuentes naturales de aguas. En el caso de que el agua residual sea tratada, al salir de la planta generalmente aun contiene los CAFs o sus metabolitos, ya que las plantas de tratamiento de aguas no están diseñadas para remover estos compuestos. Algunos CAFs quedan retenidos en los lodos activados de las plantas de tra-

tamiento de aguas. En México las aguas tratadas se utilizan para riego, llevando así los CAFs a suelo y fuentes superficiales de agua, como los ríos y aguas costeras.

En las zonas agropecuarias los animales eliminan los CAFs directamente al suelo y o aguas superficiales. De ahí pueden migrar hacia diversas aguas superficiales y subterráneas o quedar absorbidos en el suelo.

El agua sin tratar o tratada contienen los CAFs y así llegan a las fuentes naturales de agua, como mares, ríos y fuentes de agua subterráneas, incluso se han detectado en el agua potable. Es así como estos compuestos presentes en las diversas fuentes de aguas se convierten en contaminantes ambientales. Son llamados contaminantes emergentes o microcontaminantes, debido a que se encuentran en concentraciones muy pequeñas, de nanogramos a microgramos por litro (Figura 2).

Los CAFs detectados con mayor frecuencia y concentración como contaminantes

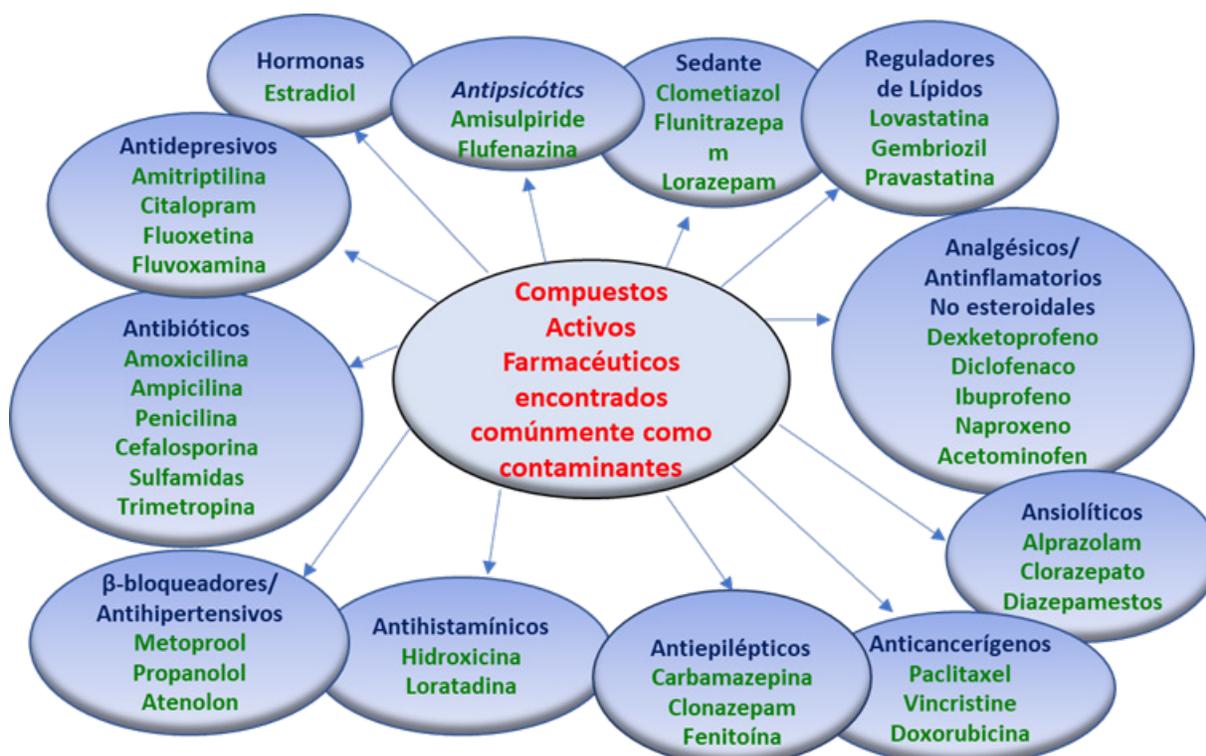


Figura 3. Algunos de los compuestos activos farmacéuticos, agrupados por uso terapéutico, encontrados frecuentemente en las aguas residuales y en las diversas fuentes de aguas naturales como contaminantes.

del ambiente son los analgésicos/antiinflamatorios, los antibióticos, los anticancerígenos, los antihipertensivos, los psiquiátricos, las hormonas, los reguladores de lípidos entre otros (figura 3). Se ha demostrado que la presencia de CAFs en las fuentes naturales de aguas tienen efectos dañinos, a continuación, se mencionan algunos de estos efectos en organismos acuáticos.

Toxicidad de los CAFs

Por la concentración en que se encuentran los CAFs en las fuentes de aguas, hasta el momento no han afectado la salud humana. Entonces, ¿por qué se consideran contaminantes? Es debido a que se ha demostrado que la presencia de los CAFs en ríos y mares tiene efectos tóxicos en algunos organismos acuáticos, como en peces, algas, crustáceos, moluscos. La

toxicidad depende del tipo y concentración de los fármacos, así como de las especies de organismos que viven en los ríos y mares. Es así como estos compuestos presentes en las diversas fuentes de aguas se convierten en contaminantes ambientales. Es decir, los CAFs son absorbidos o consumidos por organismos acuáticos, quienes no son los organismos objetivos para los cuales fueron diseñados o producidos los CAFs. Estos compuestos se bioacumulan en los organismos causando diversos daños (Santos et al., 2009).

Entre los principales efectos dañinos se puede mencionar que disminuyen la reproducción de los organismos. En peces como la trucha, el pez japonés medaka y el pez dorado, se ha demostrado que causan efectos teratogénicos, es decir malformaciones, alteraciones morfoló-

gicas y/o funcionales (Figura 4). Se ha encontrado diclofenaco en branquias y riñones de peces.

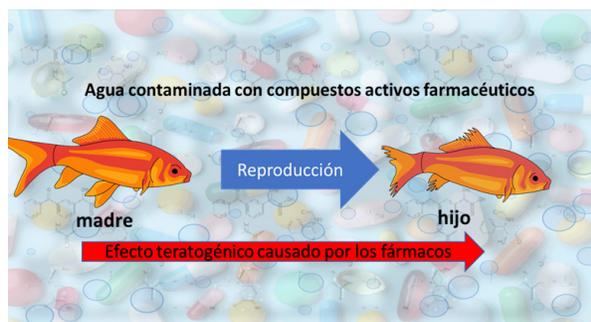


Figura 4. Malformaciones de un pez que nació de una madre que vive en agua contaminada por CAFs. Las aletas deformes y menos número de aletas, así como el tamaño del pez.

Algunos fármacos son disruptores endócrinos, es decir actúan como compuestos que alteran el sistema hormonal de los peces. Se ha demostrado que estos compuestos causan feminización de los peces, afectando de esta forma su reproducción. Los CAFs inhiben la biosíntesis de clorofila de las microalgas, provocando daños severos e incluso a muerte. Cuando llegan a estar en concentraciones un poco mayor, los CAFs pueden tener efectos letales. La dosis letal es la cantidad de una sustancia o de un agente químico o físico (radiación) que mata al 50% de los organismos de una población bajo un conjunto de condiciones definidas.

Otro problema gran problema observado, es que los antibióticos presentes, en concentraciones pequeñas, en las diversas fuentes de aguas naturales están causando que muchos microorganismos, especialmente bacterias patógenas, desarrollen resistencia a estos compuestos. Esto puede originar un problema de salud mundial, si la mayoría de las bacterias crean resistencia hacia los antibióti-

cos. En ese momento, no habrá forma de controlar las infecciones que estos organismos causan, tanto en humanos como en animales de cría.

Conclusiones

Es importante reflexionar sobre el uso de los medicamentos y tener claro que son productos indispensables en la vida actual y principalmente que en este trabajo no se busca dejar de consumirlos. Todos necesitamos de los medicamentos y en la mayoría de las veces nos curan y/o alivian el dolor. El objetivo de este trabajo es informar cómo los CAFs se convierten en contaminantes cuando llegan a las fuentes de agua y son absorbidos o ingeridos por organismos acuáticos. Ya se mencionó que los CAFs que llegan a las fuentes naturales de agua provienen primordialmente del consumo humano, uso veterinario y desecho de medicamentos, a través de las aguas residuales tratadas o no tratadas. También son vertidos directamente al suelo yaguas superficiales por las excreciones de animales de cría, es decir por la actividad agropecuaria. En las fuentes naturales de aguas estos CAFs se convierten en compuestos tóxicos para los organismos que viven en esos ecosistemas, produciéndoles principalmente mal formaciones, problemas de reproducción e incluso la muerte, por lo que no si no se toman medidas necesarias para eliminarlos, antes de que lleguen a las fuentes de agua naturales, podrían causar en un futuro próximo la extinción de las especies acuáticas que resultan más sensibles a la presencia de estos compuestos. El grupo de los antibióticos también causa que las bacterias desarrollen resistencia, lo que puede llegar a ser un problema de salud mundial,

Referencias

1. Armijo, J.A., Absorción, distribución y eliminación de los fármacos. Farmacología humana / Jesús Flórez (dir.), ISBN

978-84-458-2316-3, p. 46-71, 2014.

<http://www.pdcorynthia.sld.cu/Documentos/estudiantes/Absorci%F3n%20distribuci%F3n%20y%20eliminaci%F3n%20de%20los%20f%20>

2. Pérez, G., Quiroga, G. Industria Farmacéutica. Secretaría de Economía, 2013. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/62881/130820_DS_Farmacutica_ESP

3. Quiroga, R. Mujeres tienen previsión de cinco años más. Esperanza de vida en México creció a 76.6 años, informa la OMS. El Economista. 2020 <https://www.economista.com.mx/arteseideas/Esperanza-de->

[vida-en-Mexico-crecio-a-76.6-anos-informa-la-OMS-20200513-0144.html](https://www.economista.com.mx/arteseideas/Esperanza-de-vida-en-Mexico-crecio-a-76.6-anos-informa-la-OMS-20200513-0144.html)

4. Santos, L.H., Araújo, A.N., Fachina, A., Pena, A., Delerue-Matos, C., Montenegro, M.C., Ecotoxicological aspects related to the presence of pharmaceuticals in the aquatic environment. *J. Hazard Mater.* 175, 45-95, 2010. doi: 10.1016/j.jhazmat.2009.10.100.

5. Valladares, B., Velázquez, V., Zaragoza, A., Bedolla, C., Rivero, N., Felipe, Y., Efecto Perjudicial en Salud Pública. BM editores, 2019. <https://bmeditores.mx/ganaderia/uso-de-anabolicos-en-la-produccion-animal-efecto-perjudicial-en-salud-publica/>