

LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN: RIESGO TOXICOLÓGICO

CLEANING AND DISINFECTION: TOXICOLOGICAL RISK

Sebastián Sánchez-Fortún Rodríguez

Dpto. Toxicología y Farmacología, Facultad de Veterinaria, Universidad Complutense de Madrid.

RESUMEN

La utilización de biocidas para la desinfección de superficies, como las torres de refrigeración, ha llegado a ser un elemento clave para la prevención de enfermedades, como es el caso de la legionelosis. Pero su utilización conlleva asumir una serie de riesgos, tanto para la Salud Pública como para el entorno medioambiental donde las descargas procedentes de los puntos de aplicación pueden provocar profundas alteraciones en el medio acuático. El análisis efectuado en el presente trabajo, acerca de los diferentes parámetros para la evaluación del riesgo que supone la utilización de estos formulados, lleva a la conclusión de que, aún entendiendo que todo biocida podría provocar efectos no deseados sobre los seres vivos y el medioambiente, un correcto equilibrio entre los criterios de eficacia y seguridad es la única pauta viable para prevenir el riesgo toxicológico generado por las necesarias pautas de limpieza y desinfección de estas superficies.

PALABRAS CLAVE: Riesgo toxicológico, desinfección, Salud Pública, Medioambiente.

SUMMARY

The use of biocides for the surfaces disinfection, as cooling towers, has ended up being a key element for the prevention of illnesses, like it is the case of legionellosis disease. But their use bears to assume risks, as much for the Public and Environmental Health where the discharges can cause deep alterations in the aquatic ecosystems. The analysis apply in this work, about the different parameters for the risk evaluation that supposes the use of these formulated, takes to the conclusion that, still understanding that all biocide could cause adverse effects on organisms and environments, a correct balance among effectiveness and security approaches is the only viable rule to prevent the toxicological risk generated by the necessary cleaning and disinfection rules of these surfaces.

KEY WORDS: Toxicological Risk, Disinfection, Public Health, Environment.

INTRODUCCIÓN

Según la Directiva 98/8/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de febrero de 1998, relativa a la comercialización de biocidas, este grupo queda definido como "sustancias activas y preparados que contienen una o más sustancias activas, presentados en la forma en que son suministrados al usuario, destinados a destruir, contrarrestar, neutralizar, impedir la acción o ejercer un control de otro tipo sobre cualquier organismo nocivo por medios químicos o biológicos".

En su Anexo V, se engloban bajo el epígrafe de Desinfectantes y Biocidas Generales, de los que reconoce 5 tipos:

TIPO 1: BIOCIDAS PARA LA HIGIENE HUMANA. Los productos de este grupo son los biocidas empleados con fines de higiene humana.

TIPO 2: DESINFECTANTES UTILIZADOS EN LOS ÁMBITOS DE LA VIDA PRIVADA Y DE LA SALUD PÚBLICA Y OTROS BIOCIDAS. Productos empleados para la desinfección del aire, superficies, materiales, equipos y muebles

que no se utilicen en contacto directo con alimentos o piensos en zonas de la esfera privada, pública e industrial, incluidos los hospitales, así como los productos empleados como alguicidas. Las zonas de utilización incluyen, entre otras, las piscinas, acuarios, aguas de baño y otras; sistemas de aire acondicionado; paredes y suelos de centros sanitarios y otras instituciones; retretes químicos, aguas residuales, desechos de hospitales, tierra u otros sustratos (en las áreas de juegos).

TIPO 3: BIOCIDAS PARA LA HIGIENE VETERINARIA. Los productos de este grupo son los biocidas empleados con fines de higiene veterinaria, incluidos los productos empleados en las zonas en que se alojan, mantienen o transportan animales.

TIPO 4: DESINFECTANTES PARA LAS SUPERFICIES QUE ESTÁN EN CONTACTO CON ALIMENTOS Y PIENSOS. Productos empleados en la desinfección de equipos, recipientes, utensilios para consumo, superficies o tuberías relacionados con la producción, transporte, almacenamiento o consumo de alimentos, piensos o bebidas (incluida el agua potable) para seres humanos o animales.

Correspondencia: Sebastián Sánchez-Fortún Rodríguez. Dpto. Toxicología y Farmacología. Facultad de Veterinaria, UCM. Avda. Puerta de Hierro, s/n. 28040 Madrid. Tel. 91 394 38 41. E-mail: fortun@vet.ucm.es

TIPO 5: DESINFECTANTES PARA AGUA POTABLE. Productos empleados para la desinfección del agua potable (tanto para seres humanos como para animales).

Esta posibilidad de aparición de problemas de salud y medioambientales hace que el punto importante en cuanto a la utilización de estos formulados sean los parámetros de elección, es decir, de la amplia gama existente en el mercado cual sería el biocida adecuado para su aplicación en las superficies a tratar.

Está claro que con la utilización de estos biocidas se pretende obtener el máximo beneficio con el mínimo riesgo posible. Pero es igualmente cierto que los biocidas han sido diseñados para “destruir vida”, y por tanto sería irreal pensar en uno de ellos que fuera totalmente inocuo. Por ello, la elección de un biocida para su aplicación será un ejercicio de equilibrio entre el beneficio necesario y el riesgo que podamos ser capaces de asumir en su utilización.

Riesgo Toxicológico para la Salud Pública

Para la consecución del máximo de reducción del riesgo que para la salud pública tiene la utilización de estos compuestos, las distintas instancias internacionales tienen elaborada una batería de ensayos toxicológicos, con los que se pretende obtener la información suficiente de cara al modo de actuación toxicológico de cada uno de los principios activos y de los formulados en su conjunto. Así, resulta imprescindible conocer, tanto del compuesto parental como de sus metabolitos, su cinética; los efectos toxicológicos a corto, medio y largo plazo; el posible riesgo por contacto; y los posibles cambios que pudieran provocar acciones mutagénicas, oncogénicas o efectos sobre la reproducción.

Del conjunto de datos toxicológicos recopilados para todos y cada uno de los elementos empleados para esta función, se desprende que la pretendida elección del “desinfectante ideal” resulta al menos comprometida. Si se examinan estos compuestos desde el punto de vista relativo al riesgo para la Salud Pública, el grupo fundamental de principios activos, esto es, los diferentes grupos de surfactantes, resultan estar catalogados como nocivos.

Si el análisis se centra en principios activos ampliamente utilizados en esta función, como son los derivados de cloro, igualmente aparecen signos evidentes de riesgo. Así, un rápido recorrido por las características químicas de elementos como el hipoclorito sódico o el cloro (gas) como tal, pone en evidencia su inclusión en recopilaciones tan prestigiosas como la *European Risk Category* o la *NFPA Health Ranking*, dentro de la categoría de elementos peligrosos para la Salud Pública (Tabla 1).

De igual forma, el análisis de otros principios activos no oxidantes, como el formaldehído y glutaraldehído, revelan esa peligrosidad e incluso pueden llegar a establecer un riesgo de tipo carcinógeno, como es el caso del formadehído según la *IARC* (Tabla 2).

Bajo parámetros similares de riesgo podríamos seguir poniendo ejemplos con el resto de compuestos químicos incluidos en los formulados utilizados para la limpieza y des-

infección de superficies, y así incluir elementos corrosivos (algunos blanqueantes, ácidos, bases, ...), nocivos (preservantes, solventes, fragancias, ...) e incluso añadir algún compuesto carcinógeno más, como es el caso del 1,4-dioxano que se emplea como preservante en estos formulados.

Riesgo para la Salud Medioambiental

A la hora de valorar el posible Riesgo Ambiental de estos compuestos, el punto clave del proceso está basado en predecir la concentración de la sustancia, por debajo de la cual no son de esperar efectos adversos en el compartimento medioambiental de que se trate. Este proceso conlleva a la obtención de aquella concentración que previsiblemente no provocará efectos (PNEC), e igualmente la obtención de la concentración más pequeña capaz de provocar efectos (PEC), de tal forma que se considerará a un compuesto que no representa un riesgo ambiental cuando su relación PEC/PNEC sea menor o igual a 1, o bien puede resultar peligroso para el medioambiente cuando dicha relación sea superior a 1.

En el caso de los compuestos utilizados para la limpieza y desinfección existe además un problema medioambiental añadido, como es el grave riesgo de contaminación de aguas. Estudios realizados en la Unión Europea, acerca de la utilización del agua en los diferentes sectores, indican que el 32 % del agua empleada es dedicada a estas tareas de limpieza y desinfección, frente al 10 % utilizado en agricultura, 10 % para industria, o 14 % para uso público. Estas cifras dan una idea de la verdadera dimensión del riesgo medioambiental provocado por el vertido de estos compuestos al medio acuático.

Por todo ello, y al igual que ocurría en el caso de estudio del riesgo para la Salud Pública, los estudios para establecer el posible impacto ambiental están perfectamente desarrollados, y abarcan desde los estudios de biodegradación, tanto aeróbica como anaeróbica, el poder de bioacumulación de estos compuestos sobre los distintos organismos integrantes de la cadena trófica, y los posibles efectos tóxicos sobre dichos organismos, desde algas hasta la fauna piscícola, pasando por los distintos grupos de crustáceos y organismos presentes en el sedimento.

Descarga de biocidas al medio acuático

Aquellas industrias que prevean realizar descargas de cualquier tipo de biocida al medioambiente, deben tener previsto el potencial de peligrosidad que dicho vertido suponga al medio acuático donde se vierte. Existen diferentes formas de predecir el impacto ambiental, todas ellas encaminadas a determinar si la concentración final en el medio representa un riesgo toxicológico, y por tanto si la utilización del biocida elegido resulta aceptable o no, pero una forma rápida y sencilla podría estar configurado bajo una serie de parámetros que a continuación se analizan.

La **concentración emitida al medio** se define como la concentración de la descarga del producto, en condiciones “7Q10”, y expresada en porcentaje. Resulta evidente que, para que este dato resulte útil, es necesario que su obtención se realice cuando el flujo del medio acuático donde va a ser emitido el producto se encuentre bajo

condiciones adversas, es decir, cuando el caudal sea reducido. Es por ello por lo que se aplica el factor "7Q10", que queda definido como la medio de flujo mínimo que soporta el curso de agua en un periodo de 7 días consecutivos, y que representa una media de repetición de una vez cada 10 años. El cálculo de la concentración emitida al medio se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$CEM = \frac{DD}{(7Q10) \times [0.646 + DD]} \times 100$$

El parámetro de **concentración letal** utilizado es aquel que aporta información acerca de aquel valor capaz de provocar la muerte del 50 % de los organismos seleccionados para la prueba, es decir, la Concentración Letal 50 (CL₅₀). Aún siendo un valor útil e imprescindible para los estudios de ecotoxicidad, debe tenerse en cuenta que desde el punto de vista toxicológico es considerada como una prueba *imperfecta*, ya que existe un amplio margen de efectos patológicos entre la ausencia de efecto y la letalidad. Además de todo ello, los resultados de la prueba no pueden considerarse como valores absolutos sino sólo orientativos, no tienen valor de seguridad puesto que no son reproducibles ni entre investigadores ni en repeticiones, no prejuzgan posibles efectos letales a concentraciones inferiores, y no pueden ser extrapolables a especies diferentes. Por tanto, el valor obtenido no puede considerarse como una constante biológica, sino únicamente un valor que por su característica de parámetro único, resulta extremadamente útil para la valoración del efecto agudo de un compuesto sobre determinados organismos. El tiempo de exposición es la principal variable a tener en cuenta en los ensayos, siendo éste variable desde periodos de 24 horas (ensayos con especies como *Artemia salina*), 48 horas (ensayos con *Daphnia spp*), o exposiciones de 96 horas generalmente aplicadas a ensayos con peces. El valor obtenido se expresa normalmente como miligramos/litro.

El **volumen emitido** representa aquel que, en su totalidad, está previsto que pase directamente al cauce receptor. Dicho valor quedará expresado en gramos de producto, por lo que resulta necesario practicar la conversión de volumen a masa.

La necesidad de conocer, por parte de la industria emisora del vertido, el tiempo que transcurrirá desde que el producto ha sido vertido hasta que se degrada totalmente, hace imprescindible establecer un parámetro que aporte información al respecto. Es por ello por lo que se utiliza el valor de vida media, es decir, el tiempo necesario para la degradación del 50 % del producto en el medio receptor. Es este parámetro el principal para el conocimiento del **índice de degradación**, el cual relaciona dicha vida media con el medio mediante la siguiente fórmula:

$$ID = \frac{\ln 2}{VM} = \frac{0.69}{VM}$$

Intimamente relacionado con el índice de degradación aparece el **factor de degradación**, el cual relaciona dicho

parámetro con la estimación de descarga de producto, tanto en el sistema como en el punto de vertido permitido. El factor de degradación es calculado mediante la siguiente fórmula:

$$FD = \frac{DD}{VOLUMEN} + ID$$

La **concentración de descarga constante** queda definida como aquella concentración final resultante y dependiente del volumen de emisión del producto. Por tanto, es una relación entre los niveles de dosificación al medio por parte de la industria implicada y los valores reales de ese producto en el medio receptor. Para su cálculo resulta necesario conocer el grado de dosificación, expresado en gramos, del producto en un periodo de 24 horas, y la fórmula a aplicar para su obtención sería:

$$CDC = \frac{D}{FD \times VOLUMEN \times 3785}$$

La **concentración en el medio receptor**, expresada en miligramos/litro, es aquella que se produce en el cauce donde ha sido vertido el producto, bajo condiciones de escasa fluidez, es decir, cuando el caudal del medio es el menor previsible dentro de su ciclo. Para la obtención de este dato se relacionan los parámetros ya obtenidos anteriormente acerca de la concentración en el medio receptor, expresado en gramos, y la concentración de descarga constante, mediante la fórmula:

$$CMR = \frac{CDC \times CEM (\%)}{100}$$

Se entiende como **limitación** aquella que ha sido establecida, y por tanto regulada, por los organismos competentes para ello. Por tanto, son límites legales establecidos para cada uno de los compuestos, y serán expresados en miligramos/litro. La limitación está directamente relacionada con la vida media de los compuestos y se expresa bajo el parámetro conocido de la Concentración Letal 50 (CL₅₀), de tal forma que cuando la vida media de un compuesto no supera los 4 días, la limitación se establece como 0.5 x CL₅₀; mientras que si la vida media del producto supera estos 4 días, o simplemente no es conocida, la limitación quedaría como 0.01 x CL₅₀.

Una vez conocidos estos datos, sólo restaría la toma de decisión dependiente del resultado de la valoración, sobre si el compuesto vertido posee la seguridad de que no representará un peligro para el medioambiente. Esta decisión se establece sobre la base de la relación entre la concentración del producto en el medio receptor y las limitaciones legales establecidas, de tal forma que si esta concentración supera los límites establecidos, el compuesto se consideraría inaceptable para su uso.

Características específicas que intervienen en el Riesgo Medioambiental

Independientemente de las características específicas de estos contaminantes, la relación concentración-dependencia juega un importante papel en el riesgo ecotoxicológico. En general se podría indicar que la gravedad del riesgo ambiental está directamente relacionada con el aumento en la concentración del contaminante, y aún admitiendo que esto es así en un gran número de compuestos, los factores antes descritos de bioacumulación y de efectos sobre las poblaciones pueden llegar a variar este concepto. Así, tomando como ejemplo el riesgo ambiental del hipoclorito sódico, analizado en tres tramos de concentración (menor del 2 %, entre 2 y 20 %, y superior al 20 %), nos permite afirmar que, mientras la condición de dependencia respecto a la concentración llega a cumplirse en el daño sobre los recursos vivos, su escasa bioacumulación hace que no exista un aumento del riesgo conforme aumenta la concentración del compuesto (Figura 2).

Si se intenta caracterizar el riesgo ambiental en base a la relación PEC/PNEC, se observa como alguno de los principios activos más utilizados en los formulados, caso de los surfactantes aniónicos (alquil-sulfatos), complejantes (fosfonatos), solventes (butoxietanol), etc. suponen un muy alto riesgo medioambiental, tanto en suelos como en agua o sedimentos. Pero si la relación se intenta en base a los efectos toxicológicos de tipo agudo sobre organismos, el riesgo consignado resulta ser mucho más alto, de tal forma que, salvo pocas excepciones, el riesgo ambiental se movería en los rangos de tóxico, muy tóxico o extremadamente tóxico en los tres compartimentos mencionados.

¿Es posible adoptar una decisión para la elección del desinfectante adecuado?

Una vez analizados estos datos referentes al riesgo, tanto para la salud pública como para el medioambiente, la decisión acerca de cual sería el desinfectante adecuado para utilizar en superficies sigue siendo difícil de tomar, ya que o bien resulta arriesgado su uso para la salud pública, o bien para el medioambiente, o incluso para ambos. Y sin embargo resulta obligado elegir.

Una forma de intentar tomar una decisión acerca del biocida a emplear sería tomar en consideración el riesgo toxicológico inmediato al que se encontrarían expuestas las personas, tanto manipuladores de los compuestos como transeúntes. Para ello, la decisión podría quedar amparada por la clasificación de los distintos principios activos incluidos en los formulados. Sin embargo, cuando se analiza este parámetro aparecen un muy amplio grupo de principios activos sin clasificar, junto con otro porcentaje importante de compuestos que son clasificados como de Clase O, 2, 3, 4 ó 5, lo que evidencia un amplio rango variable de riesgo a asumir con su utilización (Tabla 3). Tampoco la consideración del riesgo toxicológico a medio y largo plazo sobre las personas ofrece una respuesta a la pregunta planteada, ya que en la mayoría de las familias de compuestos incluidos en los formulados aparecen principios activos clasificados como de Clase O, A, B ó D, que igualmente implican un riesgo toxicológico sobre la Salud Pública (Tabla 4). Si además se intenta interrelacionar estos hechos con una toma de decisión acerca del peligro

medioambiental, aparecen porcentajes altos de principios activos incluidos en la clasificación en todas y cada una de las Clases incluidas.

En el caso concreto de elección del biocida apropiado para la limpieza y desinfección de torres de refrigeración, la decisión pudiera esta abalada por los ensayos laboratoriales practicados por distintos autores, y así, los trabajos de Nalepa y col. (2002), y los presentados por Puckorius y Dile (2003) señalan la conveniencia de utilizar biocidas oxidantes halógenos para los tratamientos rutinarios, e hipoclorito sódico para las aplicaciones sobre elementos nuevos; mientras que para los tratamientos de emergencia se reservarían biocidas no oxidantes del tipo isotiazolonas, glutaraldehído o dibromonitripropionamida (DBNPA), aún corriendo el riesgo de aparición de resistencias a corto plazo.

Sin embargo, y fundamentalmente debido a la grave problemática en cuanto a los casos periódicos de legionosis relacionados directamente con estas instalaciones de refrigeración, las propuestas realizadas por estos autores están basadas casi exclusivamente en criterios de eficacia, y por tanto, ¿qué conclusiones se podrían sacar en cuanto a la relación eficacia-seguridad?

Un rápido repaso por los valores límite propuestos para estos compuestos por las distintas organizaciones internacionales, tales como la ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists), la OSHA (Occupational Safety and Health Administration), o la NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health), pone de manifiesto que hasta el momento presente no se dispone de principios activos capaces de ofrecer una buena eficacia con un máximo de seguridad para la Salud Pública y Medioambiente conjuntamente.

Evaluación medioambiental de principios activos incluidos en preparados para desinfección de torres de refrigeración

A partir de los datos recogidos en la literatura, puede realizarse una aproximación acerca del peligro ambiental que supone el vertido de estos compuesto tras su utilización como desinfectantes de las torres de refrigeración. Bien es verdad que una correcta evaluación conllevaría la utilización de los datos directos pertenecientes a los preparados comerciales, pero al no disponer de ellos, al menos se puede realizar una aproximación con los principios activos incluidos en los preparados.

Con respecto a la **Toxicidad Aguda en Peces**, y tomando como referencia a la trucha arco iris (*Oncorhynchus mikiss*), como especie más utilizada en los ensayos con peces de aguas continentales, los resultados indican un alto riesgo de toxicidad acuática ya que incluso los compuestos menos tóxicos (con base de amonio) resultaron tener una $LC_{50(96)}$ alrededor de 1.2 mg/l. Sin embargo, los dos QUATs estudiados separadamente han presentado un alto grado de toxicidad frente a esta especie. Los biocidas donantes de cloro han demostrado ejercer una extrema toxicidad frente a trucha arcoiris, puesto que son suficientes concentraciones de pocos microgramos para obtener la $CL_{50(96)}$. En parecidos términos se comportaban otros derivados halogenados, con excepción del bromuro

sódico, en el que se establece el dato en aproximadamente 30 mg/l. De algunos principios activos no se poseen datos acerca de la $LC_{50(96)}$ en trucha arco iris, aunque sí sobre otros peces. De entre ellos cabe destacar el resultado obtenido con los silicatos de aluminio y sodio, que presentaron una $LC_{50(96)}$ de 1800 mg/l, es decir, atóxicos, frente a *Poecilia reticulata* y *Gambusia affinis*, respectivamente. El único resultado que presenta una relativa baja toxicidad correspondería a uno de los compuestos resultantes de la degradación del sulfato de tetrakis(hidroximetil) fosfonio, la fosfamina, que presentó una $LC_{50(96)}$ de 100 mg/l, pero sin embargo este compuesto irá acompañado del formaldehído, cuya toxicidad es extremadamente alta. También cabría destacar que el único dato obtenido para el monopersulfato potásico ha sido la $LC_{50(48)}$, la cual se destaca significativamente de los otros datos con concentraciones de 234 mg/l y, aunque no es posible extrapolarlo, puede ser un indicador de que su toxicidad a 96 horas puede ser inferior a la obtenida en trucha arco iris para el resto. Este dato contrasta enormemente con el obtenido para el otro donante de oxígeno estudiado, el peróxido de hidrógeno, el cual se comportaba como extremadamente tóxico para esta especie. Existen grandes diferencias entre los compuestos a base de metales pesados, ya que si bien el nitrato de plata se comporta como extremadamente tóxico, el borax se ha comportado como un producto prácticamente atóxico. Por su parte, los donadores e formaldehído también se presentan como extremadamente tóxicos, al igual que los alcoholes, y los derivados de formol como muy tóxicos. Finalmente indicar que no se han obtenido datos para el efecto del hipoclorito sódico, borato sódico y ácido málico.

En lo referente a la **Toxicidad Aguda sobre *Daphnia magna***, los resultados son muy parecidos, apareciendo un alto grado de riesgo ecotoxicológico, quedando únicamente fuera de este alto riesgo los silicatos de aluminio y sodio, que arrojaron unas concentraciones de 1000 y 494 mg/l, respectivamente para la $EC_{50(48)}$. Todos los QUATs estudiados presentaron un alto grado de toxicidad frente a *Daphnia magna*, pero sobre todo cabría destacar el grado de toxicidad que presenta el WSPC, con una $CE_{50(48)}$ de 0.3 µg/l, lo que representa una gran peligrosidad en las aguas contaminadas con este producto. Algo menos tóxico, pero igualmente peligroso, se presentaba el cloruro de benzalkonio, con la concentración de 39 µg/l. En muy parecidos términos se presentaban los donantes de cloro, y aunque no se disponen de datos acerca de este biosensor para el hipoclorito sódico, la acción ejercida por este compuesto frente a *Brachionus calyciflorus*, sobre el que es capaz de provocar una CE_{50} de 3 µg/l en sólo una hora, hace que su emisión al medio acuático sea muy preocupante. Igualmente resultan peligrosos otros halogenados. Existen grandes diferencias entre los dos donantes de oxígeno estudiados, ya que si el peróxido de hidrógeno se comportaba como extremadamente tóxico, con una $CE_{50(48)}$ de 4.3 µg/l, el monopersulfato potásico no lo era tanto, y había que aumentar la concentración hasta 92 mg/l para ejercer la misma acción. Los metales pesados, alcoholes y los derivados del fenol también resultan extremadamente tóxicos para *Daphnia magna*, y con respecto a los donantes de fenol, aunque no con la virulencia de los anteriores, también presentan un alto grado de toxicidad. Finalmente, existen algunos principios activos de los que no se dispone de datos.

En cuanto a la **Toxicidad Aguda en Algas**, No ha sido posible encontrar suficientes datos que avalen correctamente una evaluación en este sentido. El motivo principal es que los diferentes autores han desarrollado las técnicas de ensayo determinado la IC_{50} a 24 o 96 horas, por lo que sólo se puede realizar una aproximación a las 72 horas estipuladas. Los compuestos amónicos presentaban un alto riesgo para estos organismos, y así se determinó una $IC_{50(96)}$ de alrededor de 0.28 mg/l para *Chlorella pyrenoidosa*, y en parecidos términos aparecía el riesgo ecotoxicológico para el ácido tricloroisocianúrico y formaldehído. Similar grado de toxicidad se presentaba el peróxido de hidrógeno, como lo demuestran estudios realizados en algas del género *Aphanizomenon*, en las que se establecía la CE_{50} a tiempos de exposición de 22 horas, en 0.9 mg/l, y cuando eran expuesta algas de la especie *Oscillatoria rubescens*, solamente eran necesarios 1.75 mg/l para eliminar al 100 % de la población. Sobre hipoclorito sódico, se ha realizado experiencias a muy corto plazo, entorno a los 30 minutos, los cuales demostraron que este producto es extremadamente tóxico para algas, puesto que eran necesarias solamente concentraciones de 170 µg/l para establecer la CE_{50} . Los estudios realizados con borato sódico, sobre algas de la especie *Chlorella vulgaris*, determinaron el valor NOEC y LOEC a 90-120 días, demostrando que estos organismos son igualmente muy susceptibles al compuesto, puesto que fueron establecidos valores de 5.2 mg/l para el primero, y 10.4 mg/l para el segundo. Cuando eran aplicado el borato sódico sobre algas verdes de la especie *Scenedesmus quadricauda* se establecía el límite de seguridad en 0.58 mg/l. No se obtuvieron datos para 5-cloro-2-metil-4-isotiazolin-3-ona, bromuro sódico, DBNPA, nitrato de plata, borax, fosfamina, 2-hidroxibifenilo, bronopol, ácido sulfámico o ácido málico. Los silicatos de aluminio y sodio, por su parte eran menos tóxicos, presentando $IC_{50(96)}$ de 180 y 850 mg/l, respectivamente.

Conclusiones

Por tanto, y como conclusión de todo lo anteriormente dicho, queda claro que la imposibilidad de eliminar estos compuestos de las labores cotidianas de limpieza y desinfección obliga a un ejercicio de responsabilidad por parte de todas las instituciones implicadas, para conseguir un equilibrio entre el riesgo toxicológico a nivel de Salud Pública y Medioambiental para que, manteniendo la eficacia de los formulados autorizados, seamos respetuosos con el medioambiente, preservándolo en las mejores condiciones posibles a las futuras generaciones.

Referencias

- Nalepa et al (2002) "The Control of Bacteria on Surfaces: Effectiveness of Bromine-Based Biocides towards Microbial Biofilms and Biofilm-Associated Legionella Pneumophila." Presented at the 2002 CTI Annual Conference.
- Puckorius and Diehl (2003) "Water Reuse Experiences With Cooling Tower Systems in San Antonio, Texas." Presented at the 2003 Cooling Technology Institute (CTI) Annual Conference.
- Sánchez-Fortún S. y Barahona M.V. (2000) Riesgo toxicológico medioambiental de compuestos activos utilizados para la desinfección de torres de refrigeración. Línea 300, Editorial Complutense, Madrid. 93 pp.

Tabla 1. Evaluación del riesgo toxicológico relacionado con el hipoclorito sódico y el cloro (gas), por parte de distintas organizaciones internacionales.

COMPUESTO	EUROPEAN TOXICITY RISK CODE	EUROPEAN RISK CATEGORY	NFPA HEALTH RANKING
Hipoclorito sódico	 C	3	3
Cloro (Gas)	 TX	1	3

ERC: (1): Extremadamente peligroso; (3): Peligroso

NFPA: (3): Alto

Tabla 2. Evaluación del riesgo toxicológico relacionado con el formaldehído y glutaraldehído, por parte de distintas organizaciones internacionales.

COMPUESTO	EUROPEAN TOXICITY RISK CODE	EUROPEAN RISK CATEGORY	NFPA HEALTH RANKING	IARC Animal/humano	
Formaldehído	 T, CAN	2	3	SI	NO
Glutaraldehído	 Xi	3	3	NO	NO

Erc: (2): Muy peligroso; (3): Peligroso

NFPA: (3): Alto

Tabla 3. Principios activos, incluidos en los formulados para limpieza y desinfección de superficies, clasificados según su riesgo inherente desde el punto de vista de su toxicidad aguda.

GRUPO	CLASE						
	s/c	0	1	2	3	4	5
Surfactantes aniónicos	7%	7%		50%	36%		
Surfactantes no iónicos	57%			31%	12%		
Surfactantes catiónicos	53%	8%		8%	8%	23%	
Surfactantes anfóteros	50%					50%	
Agentes complejantes	17%				33%	33%	17%
Agentes preservantes	20%			10%	20%	50%	
Agentes blanqueantes	20%			60%			20%
Acidos y Bases					100%		
Solventes	67%				11%	11%	11%
Fragancias	100%						

Tabla 4. Principios activos, incluidos en los formulados para limpieza y desinfección de superficies, clasificados según su riesgo inherente desde el punto de vista de su toxicidad aguda.

GRUPO	CLASE						
	s/c	O	A	B	C	D	E
Surfactantes aniónicos	8%	7%				14%	71%
Surfactantes no iónicos	77%						23%
Surfactantes catiónicos	31%	23%				23%	23%
Surfactantes anfóteros							100%
Agentes complejantes	16%			17%		17%	50%
Agentes preservantes	46%		9%			45%	
Agentes blanqueantes	20%	20%				20%	40%
Acidos y Bases							100%
Solventes	67%					33%	
Fragancias	100%						

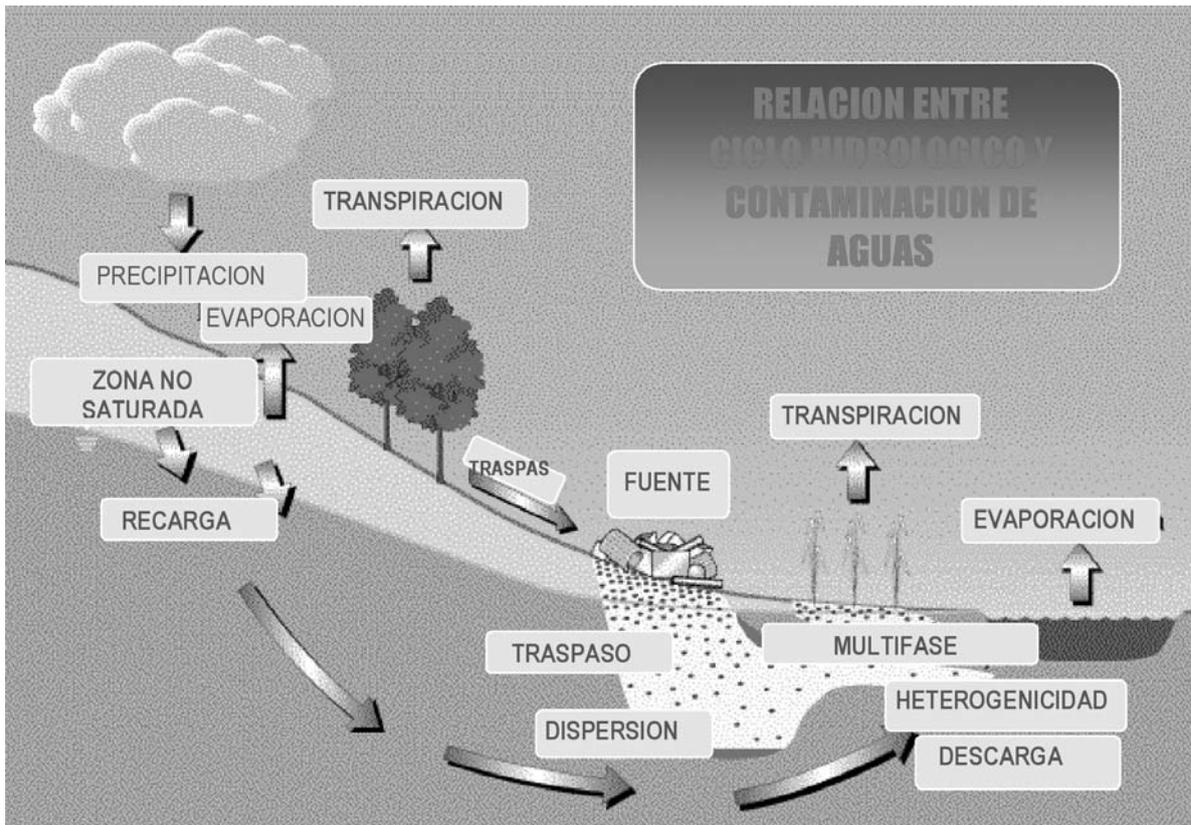


Figura 1. Relación entre el Ciclo Hidrológico y el fenómeno de contaminación acuática.

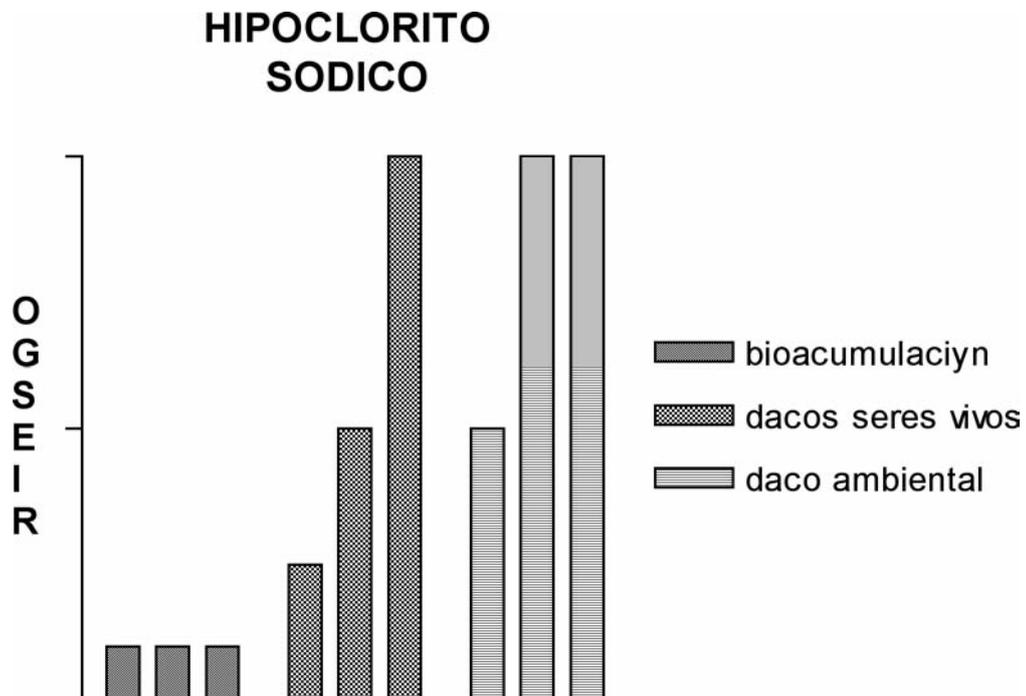


Figura 2. Relación entre el riesgo medioambiental del hipoclorito sódico y la concentración del compuesto en el fenómeno de exposición. Los valores analizados fueron de < 2, 2-20 y > 2 % de NaOCl, respectivamente.