

Recopilación de evaluaciones cuantitativas de riesgo microbiológico (QMRA) relativas al uso de aguas regeneradas para riego agrícola y reutilización potable

Joan Sanz y Rafael Mujeriego

Modelo QMRA no. 1 (2019)

Quantitative risk assessment of norovirus and adenovirus for the use of reclaimed water to irrigate lettuce in Catalonia

Eloy Gonzales-Gustavson, Marta Rusiñol, Gertjan Medema, Miquel Calvo, Rosina Girones.

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.12.070>

El agua residual es un recurso importante en regiones del mundo con escasez de agua y su uso en agricultura requiere garantizar unos riesgos aceptables para la salud pública. El uso de indicadores fecales bacterianos para evaluar esa seguridad no tiene en cuenta el papel de los virus, uno de los principales peligros potenciales para la salud. Los patógenos virales pueden complementar el uso de los indicadores fecales bacterianos para evaluar la calidad del agua. En este estudio caracterizamos la concentración y la eliminación de adenovirus humanos (HAdV) y del genogrupo II de norovirus (NoV GII), patógenos virales muy abundantes e importantes contenidos en el agua residual, mediante su tratamiento en dos estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) dotadas de tratamientos terciarios diferentes (humedales construidos en un caso y un proceso convencional con tratamientos de luz UV, cloración y Actiflo® en el otro) durante dos años en Catalunya. El principal objetivo de este estudio fue desarrollar una Evaluación Cuantitativa del Riesgo Microbiológico (QMRA) de contraer una gastroenteritis viral causada por norovirus GII y adenovirus, tras la ingestión de lechugas regadas con efluente terciario producido en esas dos EDAR. Los resultados muestran que la morbilidad debida al NoV GII y HAdV tras la ingestión de lechuga regada con un efluente terciario de cualquiera de las dos EDAR fue superior al valor recomendado por la OMS de 10^{-6} DALYs para ambos virus. La EDAR con humedales construidos registró una mayor reducción viral media (3,9 y 2,8 logaritmos para NoV GII y HAdV respectivamente) que la observada en la EDAR con tratamiento convencional (1,9 y 2,5 logaritmos respectivamente), aunque los valores de reducción viral registrados en la primera EDAR fueron más variables que los de la segunda EDAR. Un análisis de sensibilidad permitió demostrar que los parámetros utilizados para estimar la reducción viral de los tratamientos y las concentraciones virales registradas fueron responsables de la mayor parte de la variabilidad de los resultados del modelo. Las reducciones víricas requeridas en los efluentes terciarios para alcanzar los niveles de protección recomendados por la OMS vienen influidas por las características de los tratamientos incluido en las EDAR y hacen necesarias unas reducciones medias adicionales hasta alcanzar unas reducciones totales de 6,7 y 5,1 logaritmos para NoV GII y HAdV respectivamente en la EDAR con humedales construidos y de 7,0 y 5,6 logaritmos respectivamente en la EDAR con tratamientos convencionales. Esta recomendación podría conseguirse con una cuantificación media de 0,5 copias genómicas por 100 mL para ambos tipos de virus en el agua regenerada por ambas EDAR. Los resultados obtenidos sugieren la necesidad de adoptar unos tratamientos adicionales capaces de asegurar que el agua regenerada comporta un nivel de riesgo aceptable cuando se utiliza para el riego de hortalizas.

Modelo QMRA no. 2

Equivalency of indirect and direct potable reuse paradigms based on a quantitative microbial risk assessment framework

Erfaneh Amoueyan, Sajjad Ahmad, Joseph N.S. Eisenberg, Daniel Gerrity

<https://doi.org/10.1016/j.mran.2019.06.003>

This is an **open access article** under the CC BY-NC-ND license

(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

El rápido crecimiento del sector de la reutilización potable del agua ha hecho necesario mejorar la caracterización de los riesgos asociados con la presencia de patógenos y del grado de atenuación de su concentración que las diversas líneas de tratamiento del agua aportan. Es también importante entender la forma en que los nuevos esquemas de tratamiento se diferencian de la práctica tradicional de la reutilización incidental o no planificada. Las metas de este estudio fueron: 1) evaluar la equivalencia entre los sistemas de reutilización potable indirecta (RPI) y los de reutilización potable directa (RPD), 2) comparar las líneas de tratamiento alternativas y 3) identificar los elementos de diseño y las condiciones operativas más críticas para minimizar los riesgos sanitarios. Con este fin, desarrollamos una evaluación estática cuantitativa del riesgo microbiológico (QMRA) para *Cryptosporidium*, norovirus, adenovirus y *Salmonella*. El rendimiento de los procesos de tratamiento (incluyendo las posibilidades de fallos) y los consecuentes riesgos sanitarios fueron estimados usando el modelo dinámico Stella 10.1. El riesgo anual combinado de infección fue inferior en los sistemas de RPD sin aportaciones de aguas superficiales (riesgo mediano de $1,1 \times 10^{-8}$ para los sistemas de RPD basados en un tratamiento con ozono y de $3,9 \times 10^{-6}$ para sistemas de RPD dotados de ósmosis inversa) en comparación con los sistemas de RPI o de RPD con aportaciones de aguas superficiales (riesgo mediano de $9,0 \times 10^{-4}$ y $3,8 \times 10^{-3}$, respectivamente). Aunque los sistemas de reutilización incidental (no planificada), los de RPI planificada y los de RPD con aportaciones de aguas superficiales sobrepasaron el valor de referencia común de un riesgo anual de 10^{-4} , los riesgos vinieron determinados por la concentración de patógenos en las aguas superficiales captadas en zonas aguas arriba de las instalaciones de regeneración, resaltando así la importancia de caracterizar la fuente de agua de todos los sistemas de abastecimiento para consumo humano. Además, el cálculo del riesgo asociado a cada sistema estuvo frecuentemente dominado por un patógeno concreto (p.e. adenovirus con un riesgo máximo de $3,7 \times 10^{-2}$ en un sistema de RPD basado en tratamiento con ozono durante un fallo múltiple). Los análisis de sensibilidad demostraron que el tiempo de almacenamiento y la temperatura son factores importantes en la reutilización incidental y durante la presencia de fallos múltiples y que los riesgos disminuyeron generalmente a medida que aumentó la aportación de agua regenerada, debido a la solidez de los tratamientos avanzados y/o la atenuación aportada por el tampón medioambiental.

Modelo QMRA no. 3 (2017)

Reliability of pathogen control in direct potable reuse: Performance evaluation and QMRA of a full-scale 1 MGD advanced treatment train

Brian M. Pecson, Sarah C. Triolo, Simon Olivieri, Elise C. Chen, Aleksey N. Pisarenko, Chao-Chun Yang, Adam Olivieri, Charles N. Haas, R. Shane Trussell, R. Rhodes Trussell

<http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2017.06.014>

This is an **open access article** under the CC BY-NC-ND license
(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Para avanzar de forma segura en la reutilización potable directa (RPD) es esencial asegurar que los sistemas de RPD proporcionan una protección de la salud pública equivalente o superior a la ofrecida por las fuentes convencionales de agua de consumo humano. Este estudio recopiló los datos recogidos durante un año en la explotación de una planta de demostración a gran escala de RPD, y utilizó funciones de distribución de rendimiento (FDR) junto con una evaluación cuantitativa de riesgo microbiológico (QMRA) para definir y evaluar la fiabilidad de la instalación de tratamiento avanzado del agua (ITAA). La capacidad de la ITAA para controlar la presencia de enterovirus, Giardia y Cryptosporidium fue caracterizada mediante la medida en continuo de indicadores sustitutivos en una línea de tratamiento compuesta por un tratamiento con ozono, carbón activado biológico, microfiltración, ósmosis inversa y luz ultravioleta como parte de un proceso de oxidación avanzada. Se seleccionó esta línea de tratamiento como forma de mejorar la fiabilidad del proceso mediante la inclusión de una mayor redundancia, entendida como la provisión de un grado de tratamiento superior al mínimo requerido para satisfacer los requisitos normativos. Las FDR demostraron que el tratamiento superó sistemáticamente los umbrales logarítmicos 12/10/10 de eliminación de virus, Giardia y Cryptosporidium aplicados actualmente a la reutilización potable en California (mediante recarga de acuíferos o aportación a masas de agua superficial). Considerando que ningún fallo crítico del proceso afectó al rendimiento de eliminación de patógenos durante todo el año de estudio, se simuló diversos fallos posibles a fin de valorar los beneficios que la redundancia del proceso aporta al rendimiento del tratamiento. Cada proceso unitario fue sometido a la simulación de un fallo anual, con cuatro posibles duraciones: 15 min, 60 min, 8 h y 24 h. Se utilizó una QMRA para cuantificar el impacto de esos fallos en el riesgo patogénico. El riesgo mediano anual de infección por Cryptosporidium fue de $4,9 \times 10^{-11}$ en ausencia de fallos y alcanzó un máximo de $1,1 \times 10^{-5}$ cuando se supuso un fallo de 24 h en cada proceso unitario a lo largo de un año. La inclusión de una desinfección con cloro libre como proceso unitario hizo que los enterovirus presentaran un riesgo mediano anual de $1,5 \times 10^{-14}$ (sin fallos) y un riesgo máximo anual de $2,1 \times 10^{-5}$ (suponiendo un fallo de 24 h una vez al año). Incluso suponiendo unos fallos conservadores, el riesgo patogénico asociado a esta línea de tratamiento se mantiene por debajo de los objetivos de las normas de los EEUU (10^{-4} infecciones/persona.año) y de la OMS (unas 10^{-3} infecciones /persona.año, equivalente a 10^{-6} DALY/persona.año), dejando patente el mérito de una estrategia de prevención de fallos basada en la redundancia del proceso de tratamiento.

Modelo QMRA no. 4 (2014)

A probabilistic quantitative microbial risk assessment model of norovirus disease burden from wastewater irrigation of vegetables in Shepparton, Australia

Hoi-Fei Mok, S. Fiona Barker, Andrew J. Hamilton

<http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2014.01.060>

El agua residual puede ser una importante fuente de recursos en regiones del mundo con escasez de agua, aunque una de las mayores barreras para su utilización es el riesgo sanitario asociado con esa práctica. Las evaluaciones cuantitativas de riesgo microbiológico (QMRA) son una técnica de simulación probabilística utilizada para determinar los riesgos sanitarios asociados con la reutilización del agua, aunque solo un pequeño número de estudios de QMRA han examinado los riesgos sanitarios que la presencia de norovirus comporta para el consumo de vegetales regados con aguas residuales domésticas, a pesar de que los norovirus son unos de los agentes microbianos principales, sino los más importantes, causantes de enfermedades diarreicas a escala mundial. Además, la mayoría de esos estudios se han centrado solamente en el riesgo asociado con el consumo de lechugas. Para completar las lagunas de conocimiento existentes sobre los riesgos sanitarios asociados con otros vegetales, se elaboró un modelo de QMRA aplicable al riego agrícola con agua residual en la capital regional de Shepparton, Australia, utilizando las tasas de emisiones fecales para estimar la concentración de norovirus en las aguas residuales brutas. A continuación se estimaron las tasas de morbilidad causadas por norovirus en relación con el consumo de lechugas, brocoli, coliflor, vegetales asiáticos y pepinos que habían sido regados con aguas residuales depuradas. Los resultados indican que el tratamiento de depuración mediante una laguna de estabilización no alcanzó una eliminación de virus suficiente para satisfacer el umbral de riesgo recomendado por la OMS en relación con la reutilización del agua, aunque la adición de diversos procesos de desinfección ofrecieron resultados aceptables para el consumo de pepinos y brocoli. Este es el primer estudio de QMRA que incorpora la acumulación virus producida por episodios de riego con agua residual realizados previamente.

Modelo QMRA no. 5 (2012)

Direct and indirect QMRA of infectious *Cryptosporidium* oocysts in reclaimed water

M. Agulló-Barceló, R. Casas-Mangas and F. Lucena

doi: 10.2166/wh.2012.082

La escasez de agua conduce a un aumento de la utilización de agua regenerada, lo que a su vez plantea la necesidad de mejorar los procesos de regeneración del agua que permitan asegurar una calidad adecuada del efluente final. La presencia de ooquistes infecciosos de *Cryptosporidium* en un agua regenerada es un peligro sanitario para los usuarios de este recurso. En este estudio hemos recopilado la información necesaria sobre *Cryptosporidium* (concentraciones, infectividad y genotipo) para realizar una evaluación cuantitativa de riesgo microbiológico (QMRA). Además, hemos utilizado datos relativos a las esporas de clostridios sulfito-reductores para llevar a cabo un QMRA como herramienta de cribado. Los resultados obtenidos muestran que la probabilidad de infección (PI) asociada con *Cryptosporidium* depende del tipo de tratamiento terciario aplicado. El valor medio de la PI estimado utilizando un modelo exponencial de dosis-respuesta fue de $3,69 \times 10^{-6}$ en tratamientos terciarios (TT) dotados de desinfección con luz UV, mientras que el valor de la PI estimado para los efluentes desprovistos de este proceso de desinfección fue de 3 unidades logarítmicas superior, alcanzando un valor medio de $1,89 \times 10^{-3}$. Los valores medios obtenidos utilizando el modelo β de Poisson fueron de $1,56 \times 10^{-4}$ en los efluentes terciarios tratados con luz UV, mientras que los valores de la PI en los efluentes desprovistos de ese proceso de desinfección fue 2 unidades logarítmicas superior, alcanzando valores de $4,37 \times 10^{-2}$. El uso de clostridios sulfito-reductores para realizar las QMRA de *Cryptosporidium* puso de manifiesto unas PI superiores a las obtenidas cuando se utilizaron los ooquistes infecciosos de *Cryptosporidium*. Esta observación sugiere que la utilización de clostridios sulfito-reductores ofrece un método de evaluación más conservador para realizar una QMRA.