Información sobre la resistencia a los antimicrobianos para profesionales del agua

Mensajes clave

- La resistencia a los antimicrobianos (AMR, por sus siglas en inglés) dificulta el tratamiento de las enfermedades; se ha extendido y se considera un problema grave de salud pública.
- Las bacterias resistentes a los antibióticos (ARB, por sus siglas en inglés) y los genes resistentes a los antibióticos (ARG, por sus siglas en inglés) se detectan ampliamente, incluso en ambientes naturales y alimentos, pero sus riesgos para la salud humana siguen siendo poco conocidos y no están bien caracterizados.
- El riesgo de infectarse con ARB no es mayor que el riesgo de infectarse con la misma bacteria sensible a los antibióticos. Los seres humanos estamos expuestos a diario a millones de microbios con características resistentes a los antibióticos a través de actividades naturales y necesarias, como la ingesta de agua y alimentos (Pepper et al., 2018). La mayoría de estas exposiciones no causan infecciones.
- Se detectan ARB y ARG en instalaciones de recuperación de recursos hídricos (WRRF, por sus siglas en inglés), pero los procesos de tratamiento, que incluyen coagulación, clarificación, filtración, desinfección y digestión anaeróbica, generalmente reducen sus niveles.
- El Proyecto Global de Patógenos del Agua(2019) estima que las WRRF convencionales reducen los tipos de ARG observados y su cantidad en las aguas residuales no procesadas entre un 33% y un 98%, pero algunos ARG y elementos genéticos móviles (como los integrones) no se reducen.
- Las prácticas actuales de tratamiento de aguas residuales y de agua potable municipal son adecuadas para prevenir infecciones bacterianas entéricas por ARB a través del agua potable.
- Los trabajadores de las WRRF podrían estar expuestos a ARB y ARG por contacto con aguas residuales, sólidos y bioaerosoles. Los riesgos asociados son inciertos, pero pueden mitigarse siguiendo las recomendaciones de seguridad laboral de los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (n.d.-a) y WEF (2020).
- La vigilancia basada en aguas residuales es un enfoque emergente para complementar los datos de salud pública, pero no está destinada a fundamentar la evaluación de riesgos por exposición a aguas residuales.
- Las instalaciones de recuperación de recursos hídricos son puntos de control críticos importantes y uno de los medios más eficaces para eliminar o reducir la presencia de ARB y ARG en aguas residuales y el medio ambiente.

¿Por qué preparamos este documento?

Durante las últimas dos décadas, numerosos proyectos han investigado la presencia de resistencia a los antimicrobianos (AMR), especialmente la resistencia a los antibióticos, en aguas residuales. En 2023, varios artículos (p. ej.., Berglund et al., 2023; Wang & Smith, 2023; Zhao et al., 2023) reportaron la detección de genes resistentes a los antibióticos (ARG) y elementos genéticos móviles (MGE, por sus siglas en inglés) en aguas residuales, lo que generó noticias negativas y consultas de los medios de comunicación en las

Copyright © 2023 de Water Environment Federation.
Todos los derechos reservados. Para copiar, es necesario obtener

instalaciones de recuperación de recursos hídricos (WRRF) sobre AMR y los riesgos potenciales de las aguas residuales o los biosólidos (Wigglesworth, 2023). Además, los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC) han manifestado interés en incluir la vigilancia basada en aguas residuales (WBS, por sus siglas en inglés) de AMR en su Sistema Nacional de Vigilancia de Aguas Residuales, lo que permitirá mantener la atención en AMR. Este documento tiene como objetivo informar al sector del agua a medida que aumenta la atención sobre este complejo tema. Ofrece un resumen de los conceptos relacionados con la resistencia a los antimicrobianos y antibióticos, así como el estado actual de la investigación científica sobre la resistencia a los antibióticos en las WRRF.

Información sobre compuestos antimicrobianos, resistencia a los antimicrobianos, genes resistentes a antibióticos y bacterias resistentes a antibióticos.

- Los compuestos antimicrobianos pueden ser naturales o sintéticos. Los antimicrobianos son producidos naturalmente por ciertas bacterias del suelo, como actinomicetos, hongos y otros microorganismos (Pepper et al., 2009). Los antimicrobianos sintéticos se derivan de antimicrobianos naturales y se utilizan comúnmente para tratar o prevenir infecciones que afectan a personas, animales y cultivos.
- Los compuestos antimicrobianos pueden tener propiedades antibióticas, antivirales, antifúngicas o antiparasitarias.
- Los antibióticos son antimicrobianos que se administran específicamente a organismos vivos con el objetivo de eliminar bacterias (bactericidas) o impedir su multiplicación (bacteriostáticos) (Nankervis et al., 2016).
- Los desinfectantes son antimicrobianos que eliminan microorganismos en objetos inanimados (también llamados *fómites*) o en otras matrices no vivas (p. ej., agua, aguas residuales, biosólidos).
- Muchas bacterias han desarrollado resistencia a estos compuestos con el tiempo para sobrevivir y competir con otros microbios,. La resistencia está codificada en su material genético o ARG.

Acrónimos (siglas en inglés)
AMR: resistencia a los antimicrobianos
ARB: bacterias resistentes a los antibióticos
ARG: genes resistentes a los antibióticos
ESBL: enzimas betalactamasas de espectro extendido que confieren resistencia a la penicilina y otros antibióticos betalactámicos
HGT: transferencia horizontal de genes
MDR: resistencia a múltiples fármacos
MGE: elemento genético móvil
MRSA: *Staphylococcus aureus* resistente a la meticilina
WASH: agua, saneamiento e higiene
WBS: vigilancia basada en aguas residuales
WRRF: instalaciones de recuperación de recursos hídricos
VRE: enterococos resistentes a la vancomicina

- Algunas variantes de ARG son especialmente preocupantes porque codifican resistencia a antibióticos importantes utilizados en personas. Por ejemplo, algunas Enterobacteriaceae tienen un gen *bla* (o sus variantes, como $bla_{TEM/SHV}$ o bla_{CTX-M}), que codifica enzimas betalactamasas de espectro extendido (ESBL) que confieren resistencia a la penicilina y otros antibióticos de uso común. Los organismos también pueden ser resistentes a múltiples antimicrobianos a la vez, lo que se denomina *resistencia a múltiples fármacos* (MDR, por sus siglas en inglés).
- Las bacterias que contienen ARG se denominan *bacterias resistentes a los antibióticos* (ARB, por sus siglas en inglés). Las bacterias resistentes a los antibióticos pueden encontrarse de forma natural en el medio ambiente y también son comunes en animales y humanos, por ejemplo, en la piel y el intestino. Por ejemplo, tanto las bacterias inofensivas (comensales) como las que causan enfermedades (patógenas) que

Copyright © 2023 de Water Environment Federation.
Todos los derechos reservados. Para copiar, es necesario obtener permiso de la WEF.

contienen genes ESBL se encuentran comúnmente en el tracto gastrointestinal de animales y humanos y, por lo tanto, están presentes en las aguas residuales (Lamberte & Schaik, 2022).

- Las bacterias resistentes a los antibióticos no representan por sí mismas, un riesgo para la salud humana. Existen miles de variantes conocidas de ARG, y algunas incluso se han encontrado en entornos prístinos (como agua, suelo, permafrost ártico, sedimentos y aire) (D'Costa et al., 2011; Diaz et al., 2017; Rahman et al., 2008). Los genes resistentes a los antibióticos solo representan un riesgo directo para los seres humanos cuando están presentes en patógenos o se transfieren a ellos.
- Si bien la AMR es un proceso natural, las actividades humanas (p. ej., el uso de antibióticos y la agricultura) aceleran su desarrollo.

Por qué las personas se preocupan por la resistencia a los antimicrobianos

- La resistencia a los antimicrobianos se debate con frecuencia tanto en el contexto médico como en el de la salud pública.
- La Organización Mundial de la Salud (OMS) (2021) describe la AMR como un cambio que se produce en los microorganismos —bacterias, virus, hongos o parásitos— con el tiempo, cuando dejan de responder a medicamentos utilizados para tratar o prevenir sus infecciones.
- La propagación de la AMR es un problema grave de salud pública, ya que los patógenos resistentes a los antibióticos no responden al tratamiento, lo que provoca infecciones con más complicaciones, de mayor duración y con un mayor riesgo de muerte.
    - La Organización Mundial de la Salud (2021) ha declarado que la AMR es una de las diez principales amenazas para la salud pública mundial a las que se enfrenta la humanidad.
    - Según el informe de 2019 de los CDC, amenazas de resistencia a los antibióticos en Estados Unidos, AMR causa más de 2.8 millones de infecciones resistentes a los antimicrobianos anualmente en Estados Unidos resultando en más de 35,000 muertes. En comparación, el National Center for Health Statistics (Centro Nacional de Estadísticas de Salud) informó más de 87,000, 51,000 y 49,000 muertes relacionadas con diabetes, enfermedad renal y gripe y neumonía asociada, respectivamente, en Estados Unidos en 2019.
    - Las estimaciones mundiales atribuyen 1.27 millones de muertes en 2019 a la exposición e infección por ARB (Murray et al., 2022).
    - La mayoría de las organizaciones de salud pública consideran que la AMR es un problema de "UnaSalud" (One Health) que afecta la salud interconectada de las personas, los animales y el medio ambiente, ya que puede propagarse potencialmente a través de las comunidades, el suministro de alimentos, los centros de atención médica y el medio ambiente (incluidos el suelo y el agua), lo que dificulta el tratamiento de ciertas infecciones en animales y personas (CDC, n.d.-b).

Copyright © 2023 de Water Environment Federation.
Todos los derechos reservados. Para copiar, es necesario obtener permiso de la WEF.

Cómo las bacterias adquieren genes resistentes a los antibióticos y se vuelven resistentes

- Las bacterias pueden adquirir ARG mediante mutaciones genéticas o a través de transferencia horizontal de genes (HGT) de ADN exógeno (material genético) proveniente de otro microorganismo. Este ADN exógeno transferido se encuentra contenido en un elemento genético móvil MGE (Vale et al., 2022). Una vez adquiridos, los genes de resistencia se transmiten mediante transferencia vertical de genes a medida que las bacterias se reproducen.
- El *elemento genético móvil* (MGE) es un término genérico que se utiliza para referirse a segmentos o unidades de ADN exógeno que pueden moverse o transferirse físicamente de una bacteria a otra a través de diversos mecanismos, representados en la **Figura 1**, y durante la reproducción bacteriana. Los elementos genéticos móviles incluyen plásmidos, transposones e integrones (Pray, 2008).

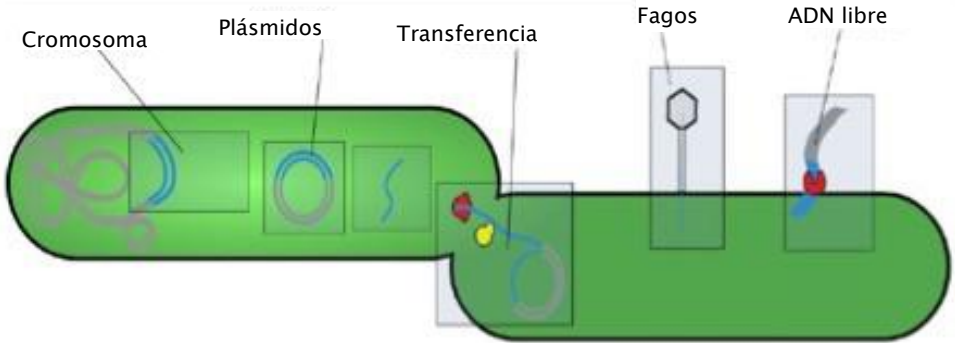


Figura 1. Ejemplos de elementos genéticos móviles en la célula (izquierda) y las formas en que pueden adquirirse (derecha) *(Fuente: Wikipedia)*

- Los elementos genéticos móviles pueden encontrarse en el cromosoma celular o en un plásmido (ADN fuera del cromosoma), como ADN libre en la célula o en un virus bacteriano (un fago).

¿Cuáles factores aumentan la resistencia a los antimicrobianos?

- La resistencia a los antimicrobianos puede surgir por una combinación de cambios genéticos y presiones selectivas:
  - La exposición prolongada a los antimicrobianos puede inducir a los organismos a desarrollar AMR.
  - La exposición a un antibiótico también puede eliminar organismos sensibles que no han adquirido ARG, permitiendo que los organismos resistentes persistan, dominen la comunidad microbiana y potencialmente transfieran sus genes a otros organismos.
  - Los entornos con alta densidad de bacterias, en particular ARB, y altas concentraciones de antimicrobianos pueden presentar un mayor riesgo de HGT. Por consiguiente, se considera que las instalaciones como los hospitales tienen una probabilidad relativamente mayor de que se produzca HGT (Evans et al., 2020).
  - Algunos estudios se han referido a las WRRF como posibles "puntos críticos" para las ARB y ARG, aunque la evidencia es contradictoria en cuanto a si el tratamiento de aguas residuales favorece o reduce la presencia de ARG

Antibióticos comunes

Antibióticos betalactámicos: Incluyen penicilina, cefalosporinas, monobactámicos y carbapenémicos

Carbapenémicos: Se utilizan frecuentemente para tratar bacterias MDR

Colistina: El único antibiótico de último recurso para infecciones causadas por Enterobacteriaceae resistentes a carbapenémicos que ponen en peligro la vida

Linezolid: Antimicrobianos de último recurso para el tratamiento de infecciones causadas por MRSA o enterococos resistentes a la vancomicina.

Copyright © 2023 de Water Environment Federation.
Todos los derechos reservados. Para copiar, es necesario obtener permiso de la WEF.

(Quach-Cu et al., 2018; Rizzo et al., 2013) .

- Según la OMS (2021), los principales factores que impulsan la AMR incluyen el uso indebido y excesivo de antimicrobianos; la falta de acceso a agua potable, saneamiento e higiene (WASH, por sus siglas en inglés) para seres humanos y animales; una deficiente prevención y control de infecciones y enfermedades en centros de salud y granjas; el acceso limitado a medicamentos, vacunas y pruebas diagnósticas de calidad y asequibles; la falta de concienciación y conocimiento; la automedicación; y la falta de aplicación de legislación.
- Eliminar los factores que impulsan la AMR puede ayudar a limitarla. Los CDC (2019) atribuyeron la disminución de las muertes relacionadas con la AMR en Estados Unidos entre 2013 y 2019 a un mejor manejo de antibióticos y a las prácticas de prevención y control de infecciones en seres humanos, animales y el medio ambiente.

¿Cómo se detectan y cuantifican las bacterias resistentes a los antibióticos y los genes resistentes a los antibióticos?

- Actualmente no existe un método estandarizado para cuantificar la AMR en muestras ambientales. Tampoco hay consenso sobre qué genes de resistencia a los antibióticos son los más útiles o importantes para monitorear (Water Research Foundation [WRF], 2023).
- Históricamente, las ARB se han detectado cultivándolas en un medio de crecimiento que contiene el antibiótico. Las bacterias que pueden multiplicarse en el medio se consideran resistentes. Las bacterias cuyo crecimiento se inhibe se consideran sensibles. Algunas se clasifican como moderadamente sensibles. Estos métodos basados en cultivos siguen considerándose el estándar de oro y se utilizan ampliamente en microbiología médica y ambiental. Sin embargo, el cultivo es tedioso y solo permite evaluar un microorganismo objetivo (p. ej., *Escherichia coli*) a la vez.
- Los métodos moleculares, como la reacción en cadena de la polimerasa cuantitativa y la secuenciación metagenómica del ADN, pueden utilizarse para detectar y cuantificar los ARG. El uso de estos datos para la evaluación de riesgos puede resultar un desafío debido a que:
  - La interpretación de datos moleculares de una mezcla compleja de bacterias (como las presentes en heces o aguas residuales) puede ser difícil, ya que este método analiza fragmentos genéticos que pueden estar asociados a múltiples organismos en la mezcla.
  - Las pruebas moleculares tampoco permiten distinguir directamente entre organismos vivos e inactivados.
  - Los métodos moleculares suelen ser más útiles cuando se busca reducir las concentraciones de ARB o ARG en un proceso, utilizando los mismos métodos y objetivos.
- Un número creciente de estudios basados en vigilancia de aguas residuales WBS (por sus siglas en inglés), como el de Wang y Smith (2023), detectan ARG en aguas residuales mediante métodos moleculares. El objetivo de la WBS es rastrear estos marcadores de enfermedades en la población humana que contribuye a las aguas residuales no procesadas. Debido a las dificultades asociadas con la interpretación de datos moleculares, los resultados de WBS no deben extrapolarse en exceso para evaluar el riesgo derivado de la exposición a las aguas residuales.

Efectos de los procesos de tratamiento de aguas residuales en los niveles de bacterias resistentes a los antibióticos y genes resistentes a los antibióticos

- Las instalaciones de recuperación de recursos hídricos son puntos de control críticos y uno de los medios más eficaces para eliminar o reducir la presencia de ARB y ARG en las aguas residuales.

Copyright © 2023 de Water Environment Federation.
Todos los derechos reservados. Para copiar, es necesario obtener permiso de la WEF.

- Se han detectado con frecuencia bacterias resistentes a los antibióticos y ARG en afluente no procesado, efluente tratado, biosólidos, agua regenerada y aguas superficiales receptoras (Beltrán de Heredia et al., 2023).
- Los ARG detectados con mayor frecuencia en el afluente, el efluente y el lodo activado de las WRRF en diferentes países son los genes de resistencia a betalactámicos, macrólidos, quinolonas, tetraciclinas, sulfonamidas y trimetoprima, así como los genes que codifican las bombas de membrana celular bacteriana que expulsan múltiples antibióticos a la vez (conocidos como *genes de eflujo de múltiples fármacos*) (Pazda et al., 2019).
- El Proyecto Global de Patógenos del Agua (2018) estima que las WRRF reducen la cantidad y los tipos de ARG que se encuentran en aguas residuales no procesadas entre aproximadamente un 33% y 98%. No obstante, algunos ARG y MGE a veces no se reducen mediante las WRRF (p. ej., integrones).
- La eliminación y amplificación de bacterias resistentes a los antibióticos y ARG en aguas residuales es un proceso complejo que depende de la configuración del proceso, las condiciones operativas, los contribuyentes a la cuenca de alcantarillado (p. ej., hospitales o lixiviados de vertederos), los ARG y las ARB que se analizan, la metodología de análisis y las propiedades del afluente.
- La coagulación y la sedimentación pueden ser eficaces para eliminar las ARB y los ARG cuando se optimizan (con una reducción de aproximadamente 1 a 4 log) (Ni et al., 2020).
- Las concentraciones de muchos ARG y ARB pueden aumentar en el tratamiento secundario (p. ej., lodos activados convencionales, biorreactores, embalses de aireación) en condiciones aeróbicas debido a que se fomenta el crecimiento microbiano y las concentraciones residuales de contaminantes (p. ej., metales pesados, antibióticos) ejercen presiones selectivas durante largos períodos de retención (Kang et al., 2022). Sin embargo, los estudios sugieren que los sistemas diseñados para la eliminación biológica de fósforo que secuencian el tratamiento anaeróbico y aeróbico en reactores secundarios eliminan ARB y ARG de manera más efectiva en comparación con los reactores aeróbicos (revisado por Li et al. [2022]).
- Las concentraciones de muchos ARG y ARB se reducen mediante procesos de filtración, como los biorreactores de membrana (reducción de aproximadamente 2 a 7 log) (Munir et al., 2011; Wang et al., 2020a).
- Las concentraciones de muchos ARG y ARB se reducen mediante la desinfección con UV, cloro, ozono y otros oxidantes.
  - Dosis de cloro libre de aproximadamente 30 mg/L logran una reducción de aproximadamente 1.3 a 1.5 log de ARG en el efluente secundario tratado (Zhang et al., 2015). Cabe destacar que se trata de la eliminación de los genes, no de la inactivación microbiana que suele asociarse a la desinfección.
  - Los niveles más altos de eliminación se obtienen al combinar múltiples opciones de desinfección. Por ejemplo, si bien dosis bajas de cloro estimularon la HGT, una combinación de UV (8 mJ/cm^2) y cloro (2 mg/L) aumentó la inactivación por UV en 1.4 log en comparación con UV sola (Wang et al., 2020b).
  - En experimentos de laboratorio realizados en solución salina tamponada con fosfato y aguas residuales filtradas, el daño a los ARG requirió dosis de UV mayores (de 200 a 400 mJ/cm2 para una reducción de 3 a 4 log) que la inactivación de ARB (de 10 a 20 mJ/cm2 para una reducción de 4 a 5 log) (McKinney & Pruden, 2012).
  - Las ARB grampositivas, como *Staphylococcus aureus* resistentes a la meticilina (MRSA) y enterococos resistentes a la vancomicina, son más resistentes a la desinfección por UV que las ARB gramnegativas (como *E. coli* y *P. aeruginosa*) (McKinney & Pruden, 2012).
- El agua regenerada suele someterse a distintos niveles de tratamiento terciario (p. ej., filtración, desinfección, afino), que se espera que reduzcan aún más la prevalencia de ARB y ARG en el producto

Copyright © 2023 de Water Environment Federation.
Todos los derechos reservados. Para copiar, es necesario obtener permiso de la WEF.

final.

- Las prácticas de manejo de sólidos pueden ser eficaces para reducir las ARB y ARG en lodos y biosólidos.
  - Los lodos y biosólidos contienen concentraciones de ARG y antimicrobianos hasta 1,000 veces superiores a las presentes en efluentes de aguas residuales tratadas (Munir et al., 2011).
  - Los niveles de ARG y ARB en la digestión anaeróbica mesófila y termófila se reducen con frecuencia como resultado de la exposición al calor, pero el rendimiento depende en gran medida de las características del material de alimentación y las temperaturas utilizadas en el proceso de digestión (p. ej., termófila vs. mesófila) (Goulas et al., 2020; Wang et al., 2021).
  - El biodesecado (de 10 a 15 días) puede lograr reducciones de 0.4 a 3.1 log en los ARG y ofrece mejores resultados que el compostaje tradicional (30 a 50 días) (Global Water Pathogen Project, 2019).
  - Aunque las ARB y ARG están presentes en los biosólidos, las investigaciones sugieren que la mayor parte de la resistencia a los antibióticos en el suelo después de su aplicación se debe a fenómenos naturales y no a actividades antropogénicas (Pepper et al., 2018).
- Las prácticas actuales para el tratamiento de aguas residuales y agua potable son adecuadas para prevenir infecciones bacterianas entéricas por ARB a través del agua potable.
- Los parámetros actuales de calidad del agua de los procesos convencionales de tratamiento de aguas residuales no son suficientes para monitorear la persistencia de ARB y ARG en WRRF (Turolla et al., 2018).

¿Qué se sabe sobre las vías de transmisión de las bacterias resistentes a los antibióticos y lo genes resistentes a los antibióticos que podrían causar enfermedades?

- Transmisiones comprobadas hasta la fecha:
  - De persona a persona o adquirida en la comunidad (Knox et al., 2015).
  - Transmisión de animal a animal, especialmente en operaciones concentradas de alimentación animal (Gilchrist et al., 2007).
  - Entornos de atención médica y sistemas de agua potable asociados (p. ej., lavabos de hospitales y tuberías de las instalaciones), además de catéteres permanentes contaminados y otros equipos e instrumentos médicos (Hidron et al, 2008; Mulvey & Simor, 2009).[1]
  - Los fómites (u objetos inanimados contaminados) también constituyen una fuente importante de exposición y transmisión de bacterias resistentes a los antibióticos en hospitales y comunidades (Stephens et al., 2019).
  - Transmisión zoonótica de animales a humanos (p. ej., trabajadores agrícolas y veterinarios) (Armand-Lefevre et al., 2005; Meijs et al., 2021; Price et al., 2012).
- Transmisiones menos frecuentes documentadas hasta la fecha:
  - Transmisión por alimentos, como carne, aves, productos bovinos, carne molida y leche (Ryan et al.,

[1] La investigación en curso (WRF, n.d.) incluyó una revisión exhaustiva de artículos científicos que vinculan la presencia de organismos resistentes en el medio ambiente con las infecciones con AMR resultantes. La gran mayoría de la evidencia epidemiológica (69%) se relacionó con la contaminación del agua en entornos de atención médica (p. ej., grifos y tuberías). Los estudios que mostraron una relación con el agua potable (9%) evaluaron sistemas descentralizados de agua potable o agua tratada de forma inadecuada. Otros estudios identificaron vínculos con el agua de superficies recreativas o piscinas/jacuzzis (3% a 4% cada una), agua de riego regenerada (2%) y exposición accidental relacionada con WASH (4%).

Copyright © 2023 de Water Environment Federation.
Todos los derechos reservados. Para copiar, es necesario obtener permiso de la WEF.

1987), especialmente cuando se produce contaminación cruzada durante la manipulación y preparación de los alimentos (Brown et al., 2017; Folster et al., 2017; Xiang et al., 2020).
    - Aguas recreativas (p. ej., piscinas, jacuzzis y aguas superficiales) (Nappier et al., 2020).
    - Agua potable tratada de forma inadecuada en entornos descentralizados y con recursos limitados.
- Vías de transmisión plausibles, aunque no comprobadas ni documentadas hasta la fecha (p. ej., se detectan con frecuencia ARB y ARG, pero no se dispone de evidencia epidemiológica):
    - Transmisión asintomática (Kariuki et al., 2006).
    - Agua de riego recuperada (es decir, reutilización del agua) (Garner et al., 2021):
        - Varios estudios exploran el riesgo de un aumento de las enfermedades gastrointestinales en trabajadores expuestos a agua reutilizada en comparación con poblaciones de control, pero ninguno analiza el riesgo asociado específicamente con la transmisión de ARB (Dickin et al., 2016).
        - Schoen et al. (2021) realizaron una evaluación cuantitativa del riesgo microbiano y concluyeron que las aguas residuales y grises mínimamente tratadas (< 4.5 log de eliminación de MRSA) pueden generar un riesgo para la salud pública que supera el umbral de 10−6 años de vida ajustados por discapacidad por persona al año. Esto no ha sido confirmado por datos epidemiológicos (Durand & Schwebach, 1989; Rosenberg Goldstein et al., 2014).
    - Agua potable municipal tratada adecuadamente: los únicos brotes de ARB asociados al agua potable se deben a agua potable sin tratar o tratada de forma inadecuada.
    - Aguas residuales y biosólidos.
    - Aguas pluviales (Hamilton et al., 2020).

Exposición y riesgos de la resistencia a los antimicrobianos

- La presencia generalizada de ARB y ARG está documentada, pero los riesgos asociados para la salud humana aún no se comprenden del todo y no están bien caracterizados. La exposición a ARB u otros patógenos resistentes que afectan la salud humana no siempre resulta en infección y transmisión de enfermedades.
    - Los seres humanos estamos expuestos a diario a millones de microbios con características resistentes a los antibióticos a través de actividades naturales y necesarias, como la ingesta de agua y alimentos (Pepper et al., 2018). La mayoría de estas exposiciones no causan infecciones.
    - Para evaluar el riesgo para la salud humana, deben considerarse otros factores, como el estado de salud y la susceptibilidad de cada individuo, la magnitud, la frecuencia y la duración de la exposición, la vía de exposición y la susceptibilidad de los patógenos a los factores de estrés.
- La Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (2013) sugiere que los niveles más altos de exposición laboral probablemente se produzcan en el sector de la atención médica y en las industrias agrícola, ganadera y alimentaria (Aarestrup, 2015). Sin embargo, también se considera que los trabajadores de laboratorios, WRRF y áreas con sistemas de HVAC deficientes y alta humedad están en riesgo. Se están evaluando los riesgos para los trabajadores en WRRF (Wengenroth et al., 2021) debido a que pueden estar expuestos a aguas residuales, sólidos y bioaerosoles que contienen ARB y ARG a través de diferentes vías de transmisión: inhalación, contacto dérmico e ingestión
    - Las mismas prácticas recomendadas por los CDC (n.d.-a) que protegen a los

Copyright © 2023 de Water Environment Federation.
Todos los derechos reservados. Para copiar, es necesario obtener permiso de la WEF.

trabajadores de cualquier patógeno serán eficaces para mitigar los riesgos derivados de ARB y ARG.

- El nivel de riesgo, si bien es incierto, puede mitigarse siguiendo las recomendaciones de seguridad laboral de la WEF (2020).
- Los CDC (n.d.-c) también brindan recomendaciones para el público en general sobre medidas para proteger la salud individual y prevenir la propagación de la AMR (p. ej.., lavarse las manos, vacunarse, practicar hábitos saludables en contacto con animales y usar los antimicrobianos correctamente).

Otras consideraciones sobre aguas residuales

- Los operadores de instalaciones de recuperación de recursos hídricos deben tener en cuenta que aceptar aguas residuales no procesadas procedentes de hospitales, lixiviados de vertederos, estanques de aguas pluviales, operaciones concentradas de alimentación animal y operaciones agrícolas probablemente contribuya a la presencia de altos niveles de ARB y ARG en comparación con las aguas residuales domésticas. Si se están planificando estudios de vigilancia de AMR, se recomienda agregar estas matrices a las muestras analizadas para fundamentar las decisiones sobre la aceptación de aguas residuales provenientes de estos clientes.
- Se recuerda a los profesionales e investigadores de la vigilancia de aguas residuales que los proveedores de muestras, como las WRRF y empresas de servicios públicos, deben ser informados de cualquier ampliación de los objetivos analíticos de WBS. Los proveedores de muestras y los operadores de WRRF también agradecen ser alertados y consultados antes de la presentación de manuscritos y las entrevistas con los medios.
- Los investigadores que realizan estudios sobre AMR en WRRF deben tener en cuenta que la mayoría de las empresas de servicios públicos no esterilizan los frascos en sus muestreadores compuestos de 24 horas y recolectan sus muestras de cumplimiento de bacterias por separado mediante muestras puntuales. Para obtener una imagen precisa de la AMR en aguas residuales, se recomienda el uso de muestras compuestas; sin embargo, esto puede provocar contaminación cruzada por ARG y confusión en los resultados cuando las muestras compuestas se dividen con las de las WRRF (Lou et al., 2023).

Copyright © 2023 de Water Environment Federation.
Todos los derechos reservados. Para copiar, es necesario obtener permiso de la WEF.

Referencias

Aarestrup, F. M. (2015). The livestock reservoir for antimicrobial resistance: a personal view on changing patterns of risks, effects of interventions and the way forward. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *370*(1670): 20140085. https://doi: 10.1098/rstb.2014.0085

Armand-Lefevre, L., Ruimy, R. y Andremont, A. (2005). Clonal comparison of Staphylococcus aureus isolates from healthy pig farmers, human controls, and pigs. *Emerging Infectious Diseases*, *11*(5), 711-4.

Beltrán de Heredia, I., Garbisu, C., Alkorta, I., Urra, J., González-Gaya, B. y Ruiz-Romera, E. (2023). Spatio-seasonal patterns of the impact of wastewater treatment plant effluents on antibiotic resistance in river sediments. *Environmental Pollution*, Volumen 319.

Bergland, F., Ebmeyer, S., Kristiansson, E. y Larsson, D. G. J. (2023). Evidence for wastewaters as environments where mobile antibiotic resistance genes emerge. *Communications Biology*, *6*(321).

Brown, A. C., Grass, J. E., Richardson, L. C., Nisler, A. L., Bicknese, A. S., & Gould, L. H. (2017). Antimicrobial resistance in Salmonella that caused foodborne disease outbreaks: United States, 2003-2012. *Epidemiology Infection*. *145*(4), 766-774.

Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades. (2019). Antibiotic resistance threats in the United States. U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention. Antibiotic Resistance Threats in the United States, 2019 (cdc.gov)

Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades. (n.d.-a). Handling human waste or sewage. Handling Human Waste or Sewage | Water, Sanitation, & Hygiene-related Emergencies & and Outbreaks | Healthy Water | CDC

Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades. (n.d.-b). One Health basics. One Health Basics | One Health | CDC Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades. (n.d.-c). Protect yourself and your family. Protect Yourself and Your Family | CDC

D'Costa, V., King, C., Kalan, L., Morar, M., Sung, W. W. L., Schwarz, C., Froese, D., Zazula, G., Calmels, F., Debruyne, R., Golding, G. B., Poinar, H. N. y Wright, G. D. (2011). Antibiotic resistance is ancient. *Nature*, 477, 457-461. https://doi.org/10.1038/nature10388

Diaz, K. S., Rich, V. I. y McLain, J. E. (2017). Searching for antibiotic resistance genes in a pristine arctic wetland. *Journal of Contemporary Water Research & Education*, *160*(1), 42-59.

Dickin, S. K., Schuster-Wallace, C. J., Qadir, M. y Pizzacalla, K. (2106). A review of health risks and pathways for exposure to wastewater use in agriculture. *Environmental Health Perspective*, *124*(7), 900-9.

Durand, R. y Schwebach, G. (1989). Gastrointestinal effects of water reuse for public park irrigation. *American Journal of Public Health*. *79*(12), 1659-60. https://doi: 10.2105/ajph.79.12.1659

European Agency for Safety and Health at Work. (25 de octubre de 2013). Work place health risks caused by drug-resistant micro-organisms. https://oshwiki.osha.europa.eu/en/themes/work-place-health-risks-caused-drug-resistant-micro-organisms

Evans, D. R., Griffith, M. P., Sundermann, A. J., Shutt, K. A., Saul, M. I., Mustapha, M. M., Marsh, J. W., Cooper, V. S., Harrison, L. H. y Van Tyne, D. (2020). Systematic detection of horizontal gene transfer across genera among multidrug-resistant bacteria in a single hospital. *Elife*. https://doi: 10.7554/eLife.53886

Folster, J., Grass, J., Bicknese, A., Taylor, J., Friedman, C. y Whichard, J. (2017). Characterization of resistance genes and plasmids from outbreaks and illness clusters caused by Salmonella resistant to Ceftriaxone in the United States, 2011-2012. *Microbial Drug Resistance*, *23*(2).

Copyright © 2023 de Water Environment Federation.
Todos los derechos reservados. Para copiar, es necesario obtener permiso de la WEF.

Garner, E., Organiscak, M., Dieter, L., Shingleton, C., Haddix, M., Joshi, S., Pruden, A., Ashbolt, N. J., Medema, G. y Hamilton, K. A. (2021). Towards risk assessment for antibiotic resistant pathogens in recycled water: a systematic review and summary of research needs. *Environmental Microbiology*, https://doi.org/10.1111/1462-2920.15804

Gilchrist, M. J., Greko, C., Wallinga, D. B., Beran, G. W., Riley, D. G. y Thorne, P. S. (2007). The potential role of concentrated animal feeding operations in infectious disease epidemics and antibiotic resistance. *Environmental Health Perspective*, *115*(2), 313–6.

Global Water Pathogen Project. (19 de octubre de 2019). Antimicrobial resistance: Fecal sanitation strategies for combatting a global public health threat. https://www.waterpathogens.org/book/antimicrobal-resistance-fecal-sanitation-strategies-combatting-global-public-health-threat

Goulas, A., Belhadi, D., Descamps, A., Andremont, A., Benoit, P., Courtois, S., Dagot, C., Grall, N., Makowski, D., Nazaret, S., Nélieu, S., Patureau, D., Petit, F., Roose-Amsaleg, C., Vittecoq, M., Livoreil, B. y Laouénan, C. (2020). How effective are strategies to control the dissemination of antibiotic resistance in the environment? A systemic review. *Environmental Evidence*, *9*(4). https://doi.org/10.1186/s13750-020-0187-x

Hamilton, K. A., Garner, E., Joshi, S., Ahmed, W., Ashbolt, N., Medema, G. y Pruden, A. (2020). Antimicrobial-resistant microorganisms and their genetic determinants in stormwater: A systematic review. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, *16*, 101–112.

Hidron, A., Edwards, J., Patel, J. Horan, T., Sievert, D., Pollack, D. y Fridkin, S. (2008). Antimicrobial-resistant pathogens associated with healthcare-associated infections: Annual summary of data reported to the national healthcare safety network at the Centers for Disease Control and Prevention, 2006–2007. *Infection Control & Hospital Epidemiology*, *29*(11), 996–1011. https://doi:10.1086/591861

Kang, M., Yang, J., Kim, S., Park, J., Kim, M., Park, W. (2022). Occurrence of antibiotic resistance genes and multidrug-resistant bacteria during wastewater treatment processes. *Science of the Total Environment*, *811*.

Kariuki, S., Revathi, G., Kariuki, N., Kiiru, J., Mwituria, J., Muyodi, J., Githinji, J. W., Kagendo, D., Munyalo, A. y Hart, A. (2006). Invasive multidrug-resistant non-typhoidal Salmonella infections in Africa: zoonotic or anthroponotic transmission? *Journal of Medical Microbiology*, *55*(5).

Knox, J., Uhlemann, A. C. y Lowy, F. D. (2015). Staphylococcus aureus infections: transmission within households and the community. *Trends in Microbiology*, *23*(7), 437–444.

Lamberte, L. E. y van Schaik, W. (2022). Antibiotic resistance in the commensal human gut microbiota. *Current Opinion in Microbiology*, *68*(agosto de 2022), 102150.

Li, S., Ondon, B. S., Ho, S.-H. Jiang, J. y Li, F. (2022). Antibiotic resistant bacteria and genes in wastewater treatment plants: From occurrence to treatment strategies. *Science of the Total Environment*, *838*.

Lou, E. G., Ali, P., Lu, K., Kalvapalle, P. y Stadler, L. B. (2023). Snapshot ARG removal rates across wastewater treatment plants are not representative due to diurnal variations. *American Chemical Society Environmental Science & Technology Water*, *3*(1), 166–175.

McKinney, C. y Pruden, A. (2012). Ultraviolet disinfection of antibiotic resistant bacteria and their antibiotic resistance genes in water and wastewater. *Environmental Science and Technology*, *46*(24), 13393–13400.

Meijs, A. P., Gijsbers, E. F., Hengeveld, P. D., Dierikx, C. M., de Greeff, S. C.; van Duijkeren, E. (2021). ESBL/pAmpC-producing *Escherichia coli* and *Klebsiella pneumoniae* carriage among veterinary healthcare workers in the Netherlands. *Antimicrobial Resistance & Infection Control*, *10*(147).

Mulvey, M. R. y Simor, A. E. (2009). Antimicrobial resistance in hospitals: How concerned should we be?

Copyright © 2023 de Water Environment Federation.
Todos los derechos reservados. Para copiar, es necesario obtener permiso de la WEF.

Canadian Medical Association Journal, *180*(4), 408–15.

Munir, M., Wong, K. y Xagoraraki, I. (2011). Release of antibiotic resistant bacteria and genes in the effluent and biosolids of five wastewater utilities in Michigan. *Water Research*, *45*(2), 681–693.

Murray, C. J. L., Ikuta, K. S., Sharara, F., Swetschinski, L., Aguilar, G. R., Gray, A., Han, C., Bisignano, C., Rao, P., Wool, E., Johnson, S., Browne, A., Chipeta, M. G., Fell, F., Hackett, S., Haines-Woodhouse, G., Kashef Hamadani, B. H., Kumaran, E. A. P., McManigal, B. Naghavi, M. (2022). Global burden of bacterial antimicrobial resistance in 2019: a systematic analysis. *The Lancet*, *399*(10325), 629–655.

Nankervis, H., Thomas, K. S., Delamere, F. M., Barbarot, S., Rogers, N. K. y Williams, H. C. (2016). Scoping systematic review of treatments for eczema. In *Programme Grants for Applied Research*. NIHR Journals Library. https://doi: 10.3310/pgfar04070

Nappier, S. P., Liguori, K., Ichida, A. M., Stewart, J. R. y Jones, K. R. (2020). Antibiotic resistance in recreational waters: State of the science. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(21), 8034.

Ni, B.-J., Yan, X., Dai, X., Liu, Z., Wei, W., Wu, S.-L., Xu, Q. y Sun, J. (2020). Ferrate effectively removes antibiotic resistance genes from wastewater through combined effect of microbial DNA damage and coagulation. *Water Research*, *185*.

Pazda, M., Kumirska, J., Stepnowski, P. y Mulkiewicz, E. (2019). Antibiotic resistance genes identified in wastewater treatment plant systems – A review. *Science of the Total Environmen*t, *697*.

Pepper, I. L., Brooks, J. P. y Gerba, C. P. (2018). Antibiotic resistant bacteria in municipal wastes: Is there reason for concern? *Environmental Science and Technology*, *52*(7), 3949–3959.

Pepper, I. L., Gerba, C. P., Newby, D. T. y Rice, C. W. (2009). Soil: A public health threat or savior? *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, *39*(5), 416–432. https://doi: 10.1080/10643380701664748

Pray, L. (2008). Transposons: The jumping genes. *Nature Education*, *1*(1), 204.

Price, L., Stegger, M., Hasman, H., Aziz, M., Larsen, J., Andersen, P. S. y Pearson, T. (2012). *Staphylococcus aureus* CC398: Host adaptation and emergence of methicillin resistance in livestock. *ASM Journals*, *3*(1).

Quach-Cu, J., Herrera-Lynch, B., Marciniak, C., Adams, S., Simmerman, A. y Reinke, R. (2018). The effect of primary, secondary, and tertiary wastewater treatment processes on antibiotic resistance gene (ARG) concentrations in solid and dissolved wastewater fractions. MDPI. water-10-00037.pdf

Rahman, M. H., Nonaka, L., Tago, R. y Suzuki, S. (2008). Occurrence of two genotypes of tetracycline (TC) resistance gene *Tet*(M) in the TC-resistant bacteria in marine sediments of Japan. *Environmental Science and Technology*, *42*(14), 5055–5061.

Rizzo, L., Manaia, C., Merlin, C., Schwartz, T., Dagot, C., Ploy, M. C., Michael, I, Fatta-Kassinos, D. (2013). Urban wastewater treatment plants as hotspots for antibiotic resistant bacteria and genes spread into the environment: A review. *Science of the Total Environment*. *447*, 345–360.

Rosenberg Goldstein, R. E., Micallef, S. A., Gibbs, S. G., He, X., George, A., Joseph, S. W. y Sapkota, A. R. (2014). Occupational exposure to Staphylococcus aureus and Enterococcus spp. Among irrigation workers using reclaimed water. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *11*(4), 4340–4355.

Ryan, C. A., Nickels, M. K., Hargrett-Bean, N. T., Potter, M. E., Endo, T., Mayer, L., ... y Blake, P. A. (1987). Massive outbreak of antimicrobial-resistant salmonellosis traced to pasteurized milk. *Jama*, *258*(22),

Copyright © 2023 de Water Environment Federation.
Todos los derechos reservados. Para copiar, es necesario obtener permiso de la WEF.

3269–3274.

Schoen, M. E., Jahne, M. A., Garland, J., Ramirez, L., Lopatkin, A. J. y Hamilton, K. A. (2021). Quantitative microbial risk assessment of antimicrobial resistant and susceptible *Staphylococcus aureus* in reclaimed wastewaters. *Environmental Science and Technology*, *55*(22), 15246–15255. https://doi: 10.1021/acs.est.1c04038.

Stephens, B., Azimi, P., Thoemmes, M. S., Heidarinejad, M., Allen, J. G. y Gilbert, J. A. (2019). Microbial exchange via fomites and implications for human health. *Current Pollution Reports*, *5*(4), 198–213.

Turolla, A., Cattaneo, M., Marazzi, F., Mezzanotte, V. y Antonelli, M. (2018). Antibiotic resistant bacteria in urban sewage: Role of full-scale wastewater treatment plants on environmental spreading. *Chemosphere*, 191 (January 2018), 761–769.

Vale, F., Lehours, P. y Yamaoka, Y. (2022). Editorial: The role of mobile genetic elements in bacterial evolution and their adaptability. *Frontiers in Microbiology*, *13*(2022).

Wang, S., Ma, X., Liu, Y., Yi, X., Du, G. y Li, J. (2020a). Fate of antibiotics, antibiotic-resistant bacteria, and cell-free antibiotic resistant genes in full-scale membrane bioreactor wastewater treatment plants. *Bioresource Technology*, *302*.

Wang, Y., Pandey, P.K., Kuppu, S., Pereira, R., Aly, S. y Zhang, R. (2021). Degradation of antibiotic resistance genes and mobile gene elements in dairy manure anerobic digestion. *PLoS One*, *16*(8), e0254836. https://doi: 10.1371/journal.pone.0254836.

Wang, P. y Smith, A. L. (2023). Emergence of Mobile Colistin Resistance Genes within Los Angeles County Wastewater. *Environmental Science and Technology Letters, 10*(4), 316–321.

Wang, H., Wang, J., Li, S., Ding, G., Wang, K., Zhuang, T., Huang, X. y Wang, X. (2020b). Synergistic effect of UV/chlorine in bacterial inactivation, resistance gene removal, and gene conjugative transfer blocking. *Water Research*, *185*.

Water Environment Federation. (2020). Protecting wastewater professionals from Covid-19 and other biological hazards. Water Environment Federation. Access Water | Protecting Wastewater Professionals From Covid-19 and Other Biological Hazards

Water Research Foundation. (n.d.). *Critical evaluation and assessment of health and environmental risks from antibiotic resistance in reuse and wastewater* (WRF Project No. 4813). Water Research Foundation.

Water Research Foundation. (2023). *Standardizing methods with QA/QC standards for investigating the occurrence and removal of antibiotic resistant bacteria/antibiotic resistance genes (ARB/ARGs) in surface water, wastewater, and recycled water* (WRF Project No. 5052). Water Research Foundation.

Wengenroth, L., Berglund, F., Blaak, H., Chifiriuc, M. C., Flach, C. F., Pircalabioru, G. G., ... y Schmitt, H. (2021). Antibiotic
resistance in wastewater treatment plants and transmission risks for employees and residents: The concept of the AWARE study. *Antibiotics*, 10(5), 478.

Organización Mundial de la Salud. (17 de noviembre de 2021). Antimicrobial resistance: key facts. Organización Mundial de la Salud.
Antimicrobial resistance (who.int)

Wigglesworth, A. (10 de abril de 2023). Discovery of antibiotic-resistant superbugs in L.A. wastewater sparks worry. *Los Angeles Times*. Antibiotic-resistant bacteria circulating in Los Angeles - Los Angeles Times (latimes.com)

Xiang, Y., Li, F., Dong, N., Tian, S., Zhang, H., Du, X., Zhou, X., Xu, X., Yang, H., Xie, J., Yang, C., Liu, H., Qiu, S., Song, H. y Sun, Y. (2020). Investigation of Salmonellosis outbreak caused by multidrug resistant *Salmonella* typhimurium in China. *Frontiers in Microbiology*, *11*(2020).

Copyright © 2023 de Water Environment Federation.
Todos los derechos reservados. Para copiar, es necesario obtener permiso de la WEF.

Zhao, F., Wang, B., Huang, K., Yin, J., Ren, X., Wang, Z. y Zhang, X. (2023). Correlations among antibiotic resistance genes, mobile genetic elements and microbial communities in municipal sewage treatment plants revealed by high-throughput sequencing. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. *20*(4), 3593.

Copyright © 2023 de Water Environment Federation.
Todos los derechos reservados. Para copiar, es necesario obtener permiso de la WEF.

Autores

Elaborado por el Grupo de Enfoque del Control de Brotes de Enfermedades Infecciosas Transmitidas en el Agua (Waterborne Infectious Disease Outbreak Control, WIDOC) de la Comunidad de Desinfección y Salud Pública (DPHC, por sus siglas en inglés) de la Water Environment Federation (WEF):

Kyle Bibby es profesor y titular de Wanzek Collegiate de Ingeniería Civil y Ambiental y Ciencias de la Tierra en la University of Notre Dame. (Notre Dame, IN).

Kari Brisolara es Decana Adjunta de Asuntos Académicos y Profesora de Ciencias de la Salud Ambiental y Ocupacional en el Louisiana State University Health Sciences Center (Nueva Orleans), y Presidenta del Comité de Salud Pública y Ambiental del WEF DPHC.

Leonard Casson es profesor Asociado de Ingeniería Ambiental en el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la University of Pittsburgh (Pittsburgh, PA) y expresidente del WEF DPHC.

Lee Gary es profesor adjunto en la Tulane University, instructor en la Basic Academy de FEMA/Emergency Management Institute (Emmitsburg, MD) y propietario y director ejecutivo de Strategic Management Services (Nueva Orleans, LA).

Charles Gerba es profesor de epidemiología y bioestadística en el Departamento de Ciencias Ambientales de la University of Arizona (Tucson, AZ).

Charles Haas es profesor LD Betz de Ingeniería Ambiental en la Drexel University (Filadelfia). Es ganador del Premio de Investigación A. P. Black 2018 de la American Water Works Association y del Premio de Miembro Distinguido 2020 de la International Water Association. Fue expresidente del WEF DPHC.

Rasha Maal-Bared es Especialista en Tratamiento de Aguas Residuales en EPCOR Water Services Inc. (Edmonton, Canadá) y actual presidenta del Grupo de Enfoque de WIDOC.

Anna Mehrotra es Directora del Programa de Vigilancia de Aguas Residuales de WEF (Alexandria, VA).

Naoko Munakata es Ingeniera Supervisora en los Distritos de Saneamiento del Condado de Los Ángeles (CA) y expresidenta del WEF DPHC.

Bina Nayak es Gerente de Proyectos de Investigación del Agua en la División de Calidad del Agua de Pinellas County Utilities (Clearwater, FL).

Lola Olabode es directora de programa en la Water Research Foundation y experta en gestión de riesgos durante brotes epidémicos (Washington, D.C.).

Robert S. Reimers es profesor Emérito de School of Public Health and Tropical Medicine de la Tulane University, Director de Asepticys Inc. (Nueva Orleans, LA) y expresidente de WEF DPHC.

Albert Rubin es Profesor Emérito del Departamento de Ingeniería Biológica y Agrícola de la North Carolina State University (Raleigh, NC).

Scott Schaefer es Director de Prácticas de AE2S (Saint Joseph, MN) y expresidente de WEF DPHC. Samendra Sherchan es profesora asociada del Departamento de Biología de la Morgan State University (Baltimore, MD) y profesora asociada de investigación en la School of Public Health and Tropical Medicine de Tulane University (Nueva Orleans, Luisiana).

Mark Sobsey es profesor de investigación de ciencias ambientales e ingeniería en la School of Global Public Health, University of North Carolina en Chapel Hill.

Jay Swift es ingeniero principal en Gray and Osborne (Seattle, WA), director de la comunidad de práctica de WEF para la recuperación de recursos y expresidente de WEF DPHC.

Copyright © 2023 de Water Environment Federation.
Todos los derechos reservados. Para copiar, es necesario obtener permiso de la WEF.

Agradecimientos

También queremos agradecer a nuestros dedicados revisores que proporcionaron excelentes comentarios: Amy Pruden (Virginia Tech), Kerry Hamilton (Arizona State University), Steve Rhode (Massachusetts Water Resources Authority), Blythe Layton (Clean Water Services) y Ryan Reinke (Distritos de Saneamiento del Condado de Los Ángeles).

Copyright © 2023 de Water Environment Federation.
Todos los derechos reservados. Para copiar, es necesario obtener permiso de la WEF.