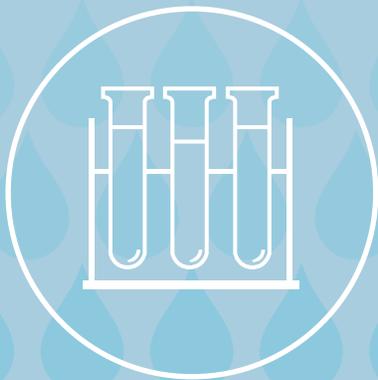




Refuerzo de la vigilancia de la salud pública mediante pruebas de aguas residuales:

Una inversión esencial para la
pandemia de COVID-19 y las
futuras amenazas para la salud



Public Disclosure Authorized
Public Disclosure Authorized
Public Disclosure Authorized
Public Disclosure Authorized

Refuerzo de la vigilancia de la salud pública mediante pruebas de aguas residuales:

Una inversión esencial para la
pandemia de COVID-19 y las
futuras amenazas para la salud

Enero 2022

Doug Manuel dmanuel@ohri.ca

Carlo Alberto Amadei camadei@worldbank.org

Jonathon R. Campbell jonathon.campbell@mail.mcgill.ca

Jean-Martin Brault jbrault@worldbank.org

Amy Zierler

Jeremy Veillard jveillard@worldbank.org



© 2022 International Bank for Reconstruction and Development /
The World Bank

1818 H Street NW, Washington DC 20433
Teléfono: 202-473-1000; Internet: www.worldbank.org

Este trabajo es un producto del personal directo del Banco Mundial con aportes externos. Los hallazgos, interpretaciones y conclusiones expresados en esta publicación no necesariamente reflejan los puntos de vista del Banco Mundial, su Junta de Directores Ejecutivos, o los gobiernos que representan.

El Banco Mundial no garantiza la precisión, completitud, o vigencia de los datos incluidos en este trabajo y no asume responsabilidad por cualesquier errores, omisiones, o discrepancias en la información, o responsabilidad con respecto al uso de o fallo en el uso de la información, métodos, procesos, o conclusiones presentadas. Las fronteras, colores, denominaciones y demás información expuestos en cualquier mapa en este trabajo no implican juicio alguno por parte del Banco Mundial acerca del estado legal de ningún territorio ni la aprobación o aceptación de tales fronteras.

Nada en la presente constituirá ni se interpretará o considerará como limitación sobre o exención de los privilegios e inmunidades del Banco Mundial, todo cual será reservado en forma específica.

Derechos y Permisos

El material en este trabajo está sujeto a derechos de autor. Debido a que el Banco Mundial fomenta la difusión de sus conocimientos, este trabajo puede reproducirse, en todo o en parte, con fines no comerciales, siempre que se otorgue la atribución completa a este trabajo.

Atribución—Favor citar el trabajo de la siguiente manera: Manuel, Douglas G., Carlo Alberto Amadei, Jonathon R. Campbell, Jean-Martin Brault, Amy Zierler y Jeremy Veillard. 2021. Refuerzo de la vigilancia de la salud pública mediante análisis de aguas residuales: Una inversión esencial para la pandemia de COVID-19 y las futuras amenazas para la salud. Washington, DC: World Bank.

Todas las consultas sobre derechos y licencias, incluidos los derechos subsidiarios, se deben dirigir a World Bank Publications, The World Bank Group, 1818 H Street NW, Washington, DC 20433, USA; fax: 202-522-2625; e-mail: pubrights@worldbank.org.

Portada foto: [Mariana Ceratti / Banco Mundial](#)

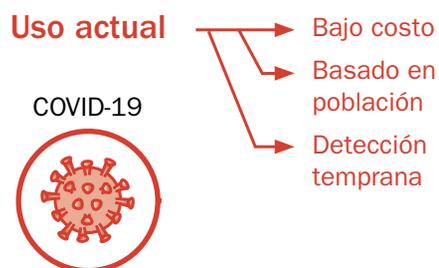
Todas las fotos se utilizan con permiso y cualquier reutilización requiere el permiso del titular de los derechos de autor.

Diseño de portada: Danielle Willis

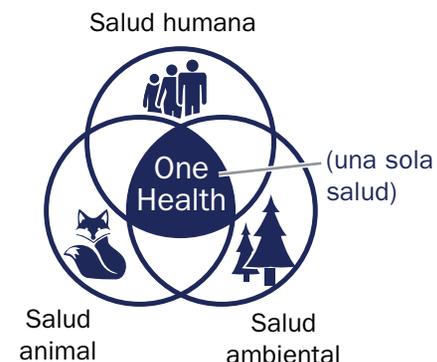
Resumen Ejecutivo

Explorando los puntos fuertes y desafíos potenciales del uso de pruebas de aguas residuales para controlar el COVID-19 en América Latina y el Caribe.

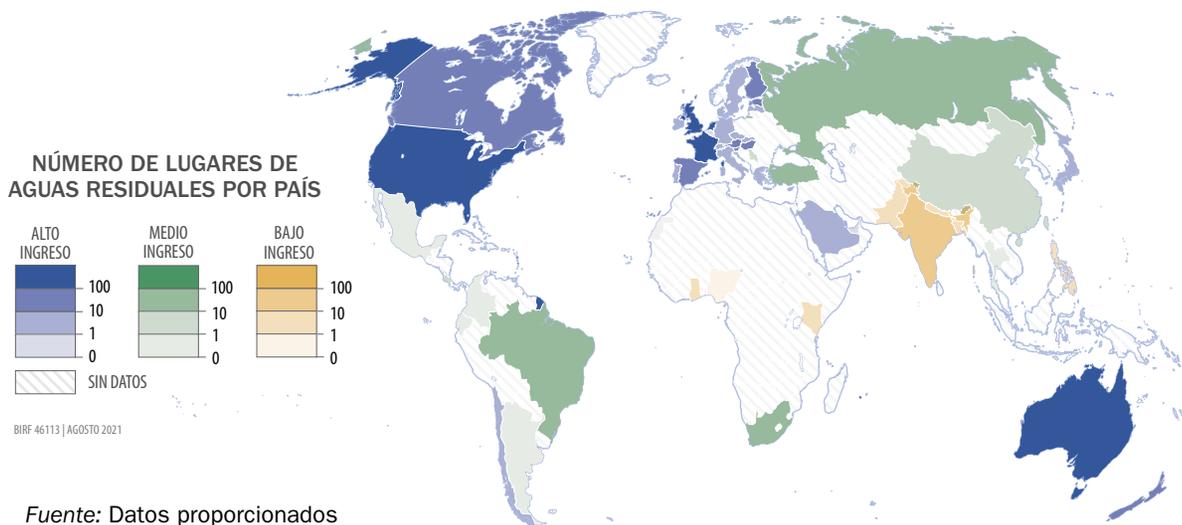
Un nuevo papel para una antigua herramienta de salud pública



- Usos futuros**
- Infecciones emergentes
 - Pandemias
 - Más de 70 enfermedades endémicas
 - Drogas, toxinas, pesticidas



Más de 3.000 sitios de prueba activos en 58 países en todo el mundo



BIRF 46113 | AGOSTO 2021

Fuente: Datos proporcionados por [Covid Poops](#). Ver referencia a Naughton et al. 2021. Mapa generado por Banco Mundial.

Más del 85 por ciento de los sitios se encuentran en países de ingresos altos o medianos altos.

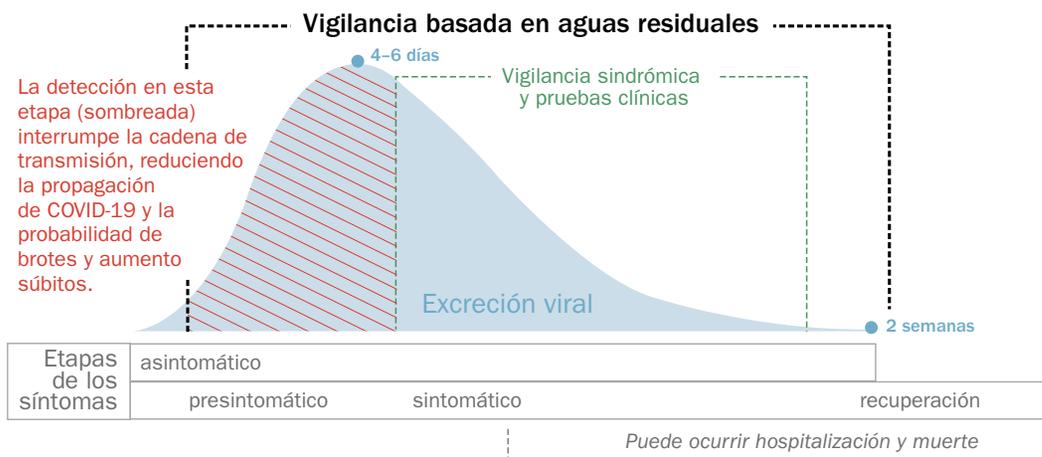
Los países de ingresos más bajos, incluidas las zonas sin un sistema de alcantarillado sanitario, también pueden beneficiarse de las pruebas de aguas residuales.

Resumen Ejecutivo

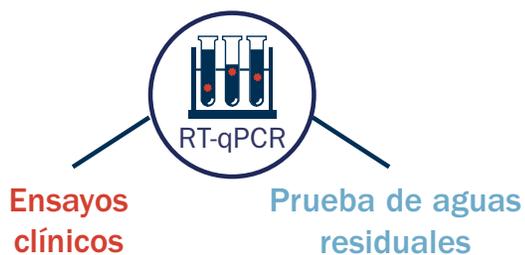
Cómo funciona

Una herramienta de alerta temprana

Al principio de la pandemia actual, se descubrió el SARS-CoV-2, el virus que causa el COVID-19, en las heces humanas. El virus es detectable en las heces tan pronto como las personas se infectan, días antes de que desarrollen síntomas e incluso si permanecen asintomáticos. La diseminación viral es más alta en los primeros días de la infección y las personas pueden transmitir el virus antes de saber que lo tienen.



El método



La reacción en cadena de la polimerasa con transcripción inversa en tiempo real (RT-qPCR) El ensayo es tan sensible que puede detectar niveles mínimos de material genético del SARS-CoV-2, incluso cuando las heces se diluyen con agua de lluvia o efluentes industriales.

Accesible para todas las comunidades

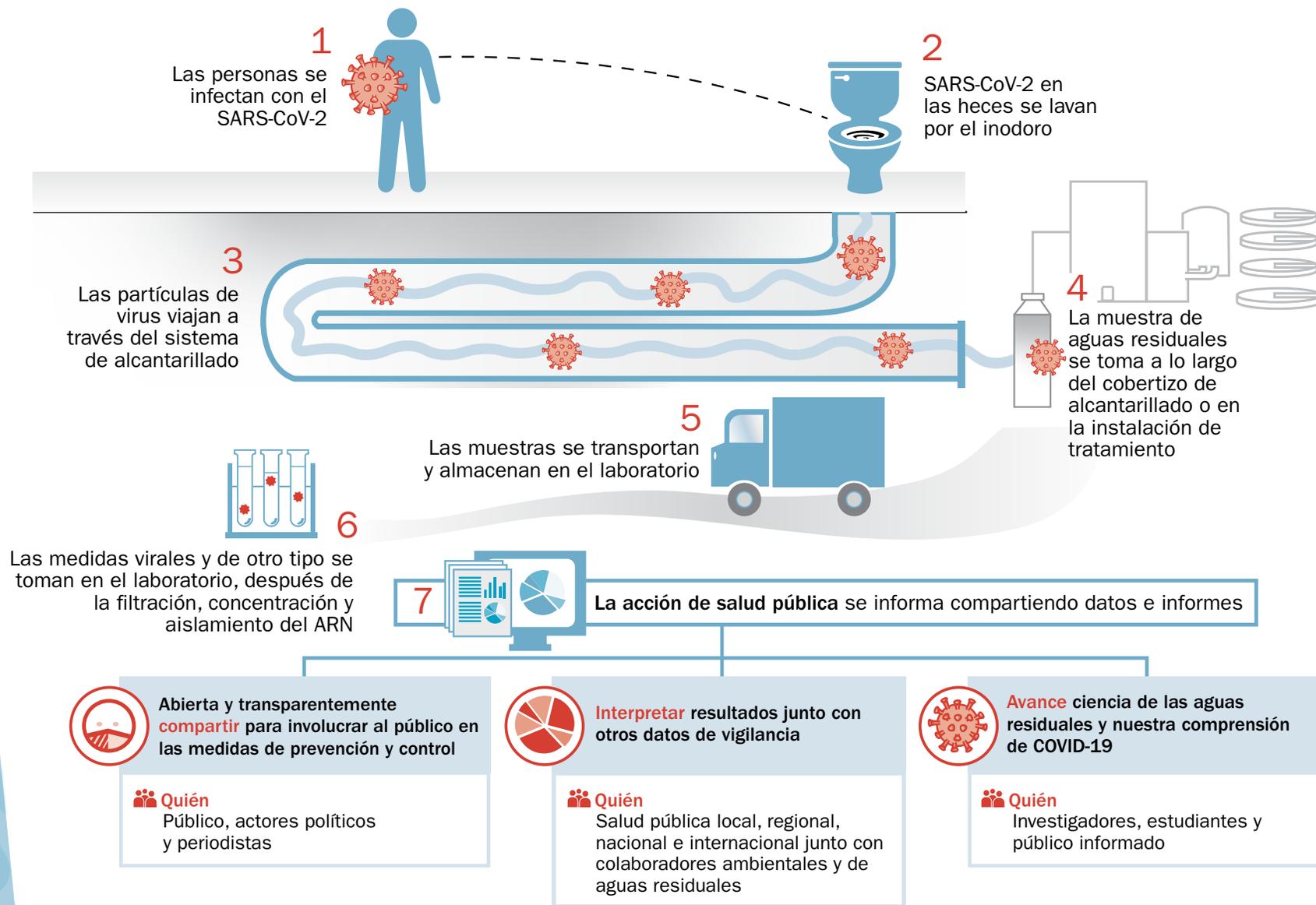
Las pruebas se pueden realizar en muestras recolectadas en cualquier lugar donde las aguas residuales fluyan o sean tratadas: salidas en lugares específicos, lagunas de aguas residuales o sistemas de zanjas abiertas, o grandes instalaciones de tratamiento en áreas con sistemas de recolección bien desarrollados.

Forma complementaria de vigilancia

Las pruebas de aguas residuales complementan (no reemplazan) otros métodos de vigilancia de la salud pública.

Resumen Ejecutivo

Pasos para la prueba de aguas residuales



Resumen Ejecutivo

Puntos fuertes y beneficios



Admite una detección temprana y amplia

Se detecta infección en todas las etapas, incluidos los casos asintomáticos



Apoya la vigilancia sostenible*

Las pruebas de aguas residuales cuestan menos que las pruebas clínicas y no requieren ningún esfuerzo por parte de los residentes locales



Apoya el control

La detección temprana permite el control mediante la identificación rápida de brotes y oleadas



Apoya la equidad y la vigilancia basada en la población

Las pruebas de aguas residuales incluyen a todos y permiten centrarse en las poblaciones vulnerables

* Una estrategia nacional de análisis de aguas residuales cuesta US\$1 por persona para el primer año. Sin embargo, los costos pueden variar de US\$0,20 a más de \$3 por persona, dependiendo de la proporción de la población atendida por las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, la frecuencia de las pruebas y otros factores

Desafíos y limitaciones



Es necesario desarrollar las mejores prácticas de medición y generación de informes.

Mejora necesaria: Es necesario mejorar las garantías de calidad entre los diversos métodos analíticos para medir el SARS-CoV-2 en las aguas residuales.

Desafío: Muchos factores influyen en la cantidad de material viral medible en las aguas residuales, lo que da como resultado una amplia variación diaria en la señal dentro y entre sitios.



Interpretar los resultados requiere colaboración y coordinación.

Mejora necesaria: La salud pública, los laboratorios de pruebas y los servicios públicos de aguas residuales deben trabajar juntos para garantizar que las pruebas de aguas residuales proporcionen inteligencia procesable.

Desafío: Como cualquier esfuerzo interinstitucional, un programa de análisis de aguas residuales es una cadena en la que la fuerza proviene de cada eslabón.



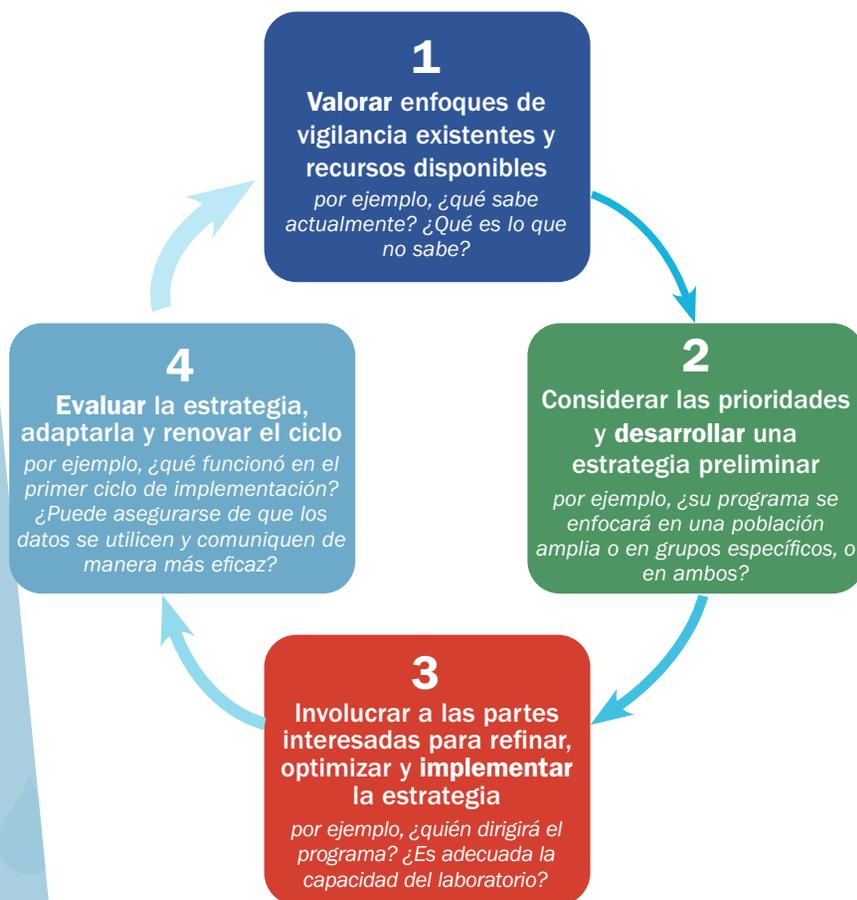
Los programas de análisis de aguas residuales necesitan una infraestructura sostenible.

Mejora necesaria: Los programas locales necesitan apoyo para la transición de programas piloto a sistemas de vigilancia expandidos, organizados y sostenibles.

Desafío: En el rápido crecimiento de las pruebas de aguas residuales durante esta pandemia, la mayoría de los programas nuevos han sido proyectos piloto de laboratorios académicos.

Resumen Ejecutivo

Pasos para el éxito



Al margen del COVID-19

El éxito de las pruebas de aguas residuales durante la pandemia de COVID-19 ha destacado este enfoque como una herramienta multifacética con roles potenciales *al margen de la pandemia actual*.

- Las aguas residuales pueden ser una lente para *la salud en general* de nuestras comunidades. Se puede analizar una sola muestra para una variedad de patógenos: influenza, hepatitis A, poliomielitis y otras enfermedades. Y las pruebas de aguas residuales pueden ayudar a una comunidad a monitorear la exposición local a drogas, toxinas, pesticidas y otros compuestos químicos.
- Construir las alianzas y la infraestructura necesarias para realizar pruebas exitosas de aguas residuales puede llevar tiempo. Pero **las inversiones de hoy pueden producir beneficios a largo plazo al fortalecer la capacidad de un país para dar una respuesta de salud pública oportuna y bien informada para una variedad de temas.**
- El análisis de aguas residuales es parte de un enfoque One Health que explícitamente integra la salud humana, animal y ambiental con un **resultado final de mejorar la seguridad sanitaria global y lograr ganancias en desarrollo.**

Contenido

Reconocimientos	xi
1: Resumen de la situación	1
El camino hacia la endemidad	1
Prueba de aguas residuales: Una herramienta de vigilancia emergente para COVID-19	2
2: ¿Por qué realizar pruebas de aguas residuales para el SARS-CoV-2?	3
Alerta temprana, costo relativamente bajo	3
Utiliza el mismo ensayo confiable que en las pruebas clínicas.....	5
Adecuado para muchos entornos	5
Aborda los cuatro impulsores clave de la pandemia	6
Admite una detección amplia en todas las etapas	10
Apoya la vigilancia sostenible.....	10
Apoya el control de brotes, picos y olas	13
Apoya la equidad y la vigilancia basada en la población	14
Las aguas residuales son una lente para la salud de nuestra comunidad.....	15
3: Caja de herramientas de vigilancia de aguas residuales	16
Cómo se realizan las pruebas de aguas residuales	17
Cuatro usos de las pruebas de aguas residuales	19
Usos potenciales futuros	20
Ejemplos de casos de usos	21
Se requieren personas y asociaciones.....	25
Desafíos de implementación.....	26
Ejemplos de uso en América Latina y el Caribe	30
4: Hacia un programa nacional de vigilancia de aguas residuales	34
Fase 1 — Evaluar	36
Fase 2 — Desarrollar	40
Fase 3 — Implementar	45
Fase 4 — Evaluar	49
El proceso es cíclico	52
Referencias	53

Figuras

Figura 1. Mapa mundial de análisis de aguas residuales por país.....	4
Figura 2. El tamaño de la población de la ubicación de la muestra conduce a diferentes acciones de salud pública	6
Figura 3. Motores de la pandemia de COVID-19 y cómo las pruebas de aguas residuales los abordan	7
Figura 4. Las pruebas de aguas residuales identifican personas a lo largo de una enfermedad aguda COVID-19	10
Figura 5. Requisitos de recursos para las pruebas clínicas frente al costo de las pruebas de aguas residuales	12
Figura 6. Recursos de pruebas clínicas y de aguas residuales.....	13
Figura 7. La identificación temprana de picos y olas es fundamental para el control	13
Figura 8. Cobertura poblacional de los enfoques de vigilancia de COVID-19	14
Figura 9. Usos de las pruebas de aguas residuales más allá de la pandemia actual.....	15
Figura 10. Pasos para la prueba de aguas residuales	18
Figura 11. Cuatro usos de las pruebas de aguas residuales.....	19
Figura 12. Tres disciplinas para el éxito de la vigilancia de las aguas residuales.....	25
Figura 13. Desafíos de implementación	26
Figura 14. Factores que afectan la variación diaria en la medición	27
Figura 15. Influencias clave para la medición de aguas residuales.....	28
Figura 16. Fases de una estrategia de vigilancia de aguas residuales.....	35
Figura 17. Preguntas para un inventario de datos de vigilancia (contenido a continuación).....	37
Figura 18. Poniendo su estrategia en acción	45

Recuadros

Recuadro 1. Villa 31: Los brotes aíslan densos vecindarios informales.....	9
Recuadro 2. Un ejemplo de estimación del costo de las pruebas de aguas residuales para una población	43
Recuadro 3. Un ejemplo de estimación del costo de las pruebas clínicas para una población	43

Reconocimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a la subvención del Fondo de Asociación Corea-Banco Mundial (KWPF), una iniciativa del Ministerio de Economía y Finanzas de la República de Corea y el Banco Mundial, y a las contribuciones financieras de la Asociación Mundial para la Seguridad del Agua y el Saneamiento (GWSP). Los autores desean reconocer y agradecer a la diseñadora gráfica Danielle Willis y al traductor Antonio Posada.



1 Resumen de la situación

La necesidad de mejores estrategias de vigilancia para COVID-19



crédito de la fotografía: Xavi Guatemala er Donat

Desde principios de 2020, un brote de la enfermedad por coronavirus (COVID-19) causado por el nuevo coronavirus de 2019 (SARS-CoV-2) se ha propagado rápidamente por todo el mundo. América Latina y el Caribe siguen siendo un epicentro de la pandemia, con algunas de las tasas de mortalidad más altas del mundo. Todos los países de la región se han visto afectados y más de 1,5 millones de personas han fallecido. Con sus implacables consecuencias sociales y económicas, el COVID-19 amenaza con deshacer los recientes avances en materia de resultados sanitarios en América Latina y el Caribe y desvía la atención del trabajo relativo a los restantes retos del sector sanitario.

El camino hacia la endemividad

Aunque la cobertura mundial de vacunas está aumentando, las variantes altamente transmisibles presentan desafíos para el control de la pandemia. Las desigualdades en la carga de morbilidad por COVID-19 seguirán siendo un desafío en muchas áreas. Al igual que otras regiones, América Latina y el Caribe pueden esperar brotes y picos en el futuro previsible. La vigilancia y la planificación serán fundamentales para permitir la detección temprana y el manejo de los brotes locales, que ocurrirán con más frecuencia en comunidades desfavorecidas y pueden abrumar la atención de salud local.

Los países deben abordar la necesidad constante de vigilancia de la salud pública de las amenazas actuales y nuevas para la salud. Hay oportunidades y lecciones de COVID-19 que pueden ayudar a los países a prepararse mejor para el futuro.

Prueba de aguas residuales: Una herramienta de vigilancia emergente para COVID-19

Los estudios han demostrado que la mayoría de las personas infectadas con SARS-CoV-2 eliminan el virus en las heces, generalmente antes de que comiencen los síntomas (Zhang et al. 2020; Stanoeva et al. 2021). En áreas con alcantarillado sanitario, cuando alguien con COVID-19 va al baño, arroja el virus al sistema de aguas residuales. Analizar las aguas residuales puede, a un costo relativamente bajo, mostrar dónde está circulando el virus y si el número de personas infectadas en un área local está aumentando o disminuyendo.

Este informe explora el valor, el potencial y los desafíos de las pruebas de aguas residuales para el SARS-CoV-2 en América Latina y el Caribe, incluso en áreas sin un sistema de alcantarillado sanitario. Al proporcionar ejemplos de todo el mundo, el informe también describe lo que los países deberían considerar al crear un programa nacional de vigilancia de aguas residuales como parte de sus esfuerzos más amplios para controlar los impactos de COVID-19.



2 ¿Por qué realizar pruebas de aguas residuales para el SARS-CoV-2?

Un nuevo papel para una antigua herramienta de vigilancia



crédito de la fotografía: UN Women/Ryan Brown

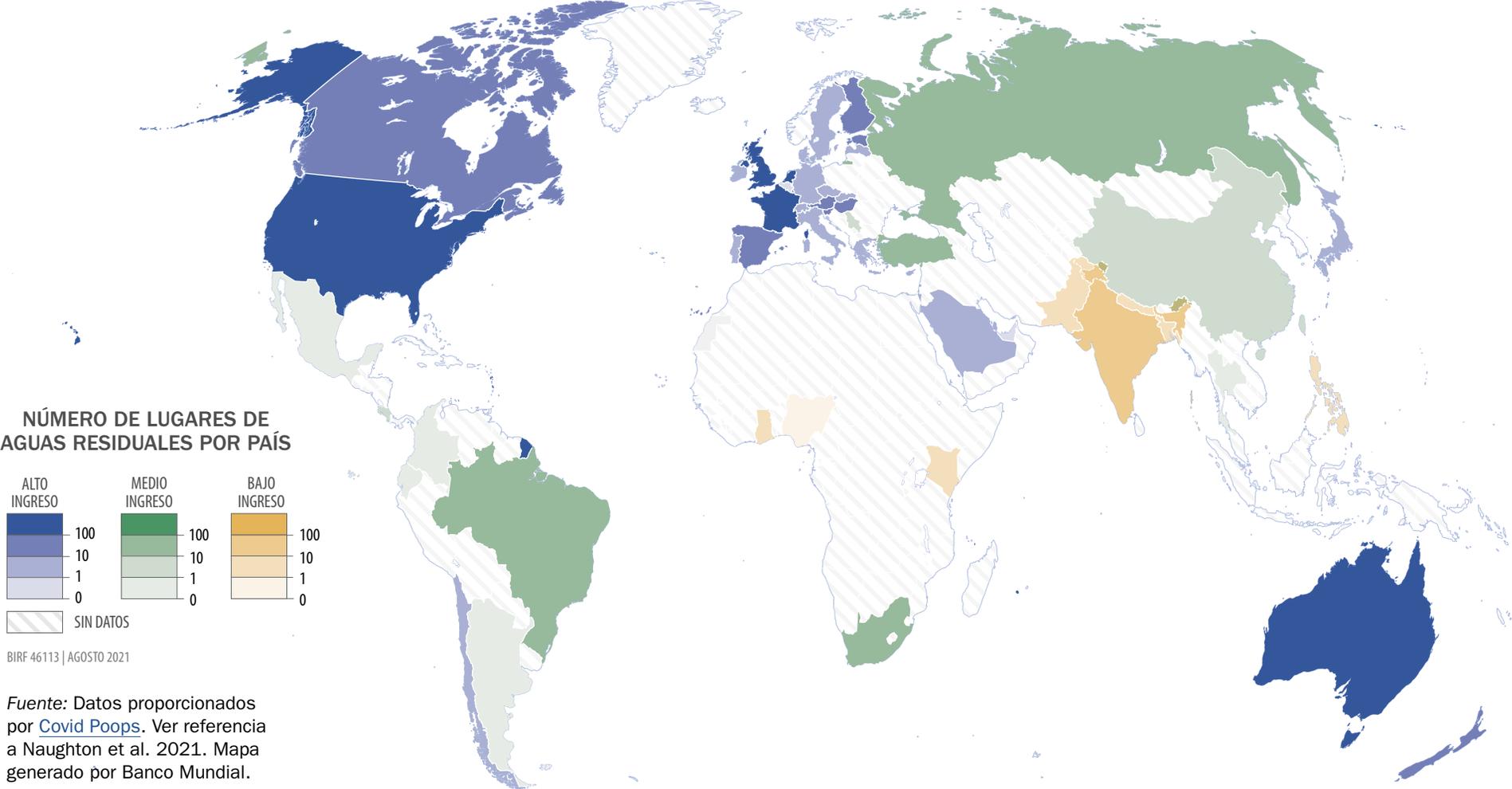
Las pruebas de aguas residuales tienen una larga historia de información sobre las acciones de salud pública. En el pasado, se ha utilizado para monitorear amenazas para la salud como la poliomielitis y la resistencia a los antimicrobianos (Zhang et al. 2020; Stanoeva et al. 2021). Estas experiencias sentaron las bases para el rápido desarrollo de métodos para analizar las aguas residuales para detectar el COVID-19. Esto ha posicionado la vigilancia de las aguas residuales dentro del conjunto de herramientas central de los sistemas de vigilancia modernos a nivel mundial.

Alerta temprana, costo relativamente bajo

En los primeros meses de la pandemia, se descubrió el SARS-CoV-2 en las heces, y los investigadores de varios países identificaron el SARS-CoV-2 en las aguas residuales (Bivins et al. 2020). El potencial de las aguas residuales para actuar como un sistema de alerta temprana para los brotes de COVID-19 impulsó a los laboratorios académicos de todo el mundo a comenzar a analizar las aguas residuales en sus regiones. En el transcurso del primer verano de la pandemia, en 2020, una aceleración del número de centros de análisis de aguas residuales confirmó la detección temprana del SARS-CoV-2 en una serie de entornos, desde los sistemas municipales de aguas residuales hasta los campus universitarios y otros lugares (Keshaviah et al. 2021).

En comparación con las pruebas clínicas, las pruebas de aguas residuales son una herramienta de vigilancia de COVID-19 relativamente asequible y oportuna que se adapta bien a todos los países (Keshaviah et al. 2021). Estas cualidades han ayudado a impulsar la expansión de las pruebas de aguas residuales durante la pandemia. A diciembre de 2021, hay más de 3.000 sitios de prueba en todo el mundo (Naughton et al. 2021a). Sin embargo, la mayoría de los sitios se encuentran en países más ricos (figura 1). En septiembre de 2021, se estaban realizando pruebas de aguas residuales en 55 países: 36 (65%) eran países de ingresos altos, 11 (20%) eran países de ingresos medianos altos, 8 (15%) eran países de ingresos medianos bajos y ninguno era países de ingresos bajos (Naughton et al. 2021b).

Figura 1. Mapa mundial de análisis de aguas residuales por país



Utiliza el mismo ensayo confiable que en las pruebas clínicas

El método de análisis de las aguas residuales para el SARS-CoV-2 es el mismo que el de las pruebas clínicas: reacción en cadena de la polimerasa con transcripción inversa en tiempo real, o RT-qPCR, el método de laboratorio más preciso y sensible para detectar el SRAS-CoV-2.

En las pruebas clínicas, un individuo proporciona una muestra de saliva o moco nasal. En el laboratorio, el proceso RT-qPCR amplifica el material genético de la muestra. A continuación, se agregan cebadores o secuencias de material genético específicas de SARS-CoV-2. Los cebadores emiten fluorescencia (se iluminan) si el SARS-CoV-2 está presente. Cuando se identifica una nueva variante de interés, los científicos desarrollan nuevos cebadores para la mutación específica y la secuencia genética de la variante.

Afortunadamente, la prueba o ensayo RT-qPCR se puede realizar en cualquier tipo de muestra, incluidas las aguas residuales. El ensayo es tan sensible que puede detectar niveles mínimos de material genético del SARS-CoV-2, incluso cuando las heces se diluyen con agua de lluvia o efluentes industriales (Wu et al. 2021).

Adecuado para muchos entornos

Las pruebas para el SARS-CoV-2 se pueden realizar en muestras tomadas en cualquier lugar donde fluyan o sean tratadas aguas residuales. En comunidades con sistemas de recolección bien desarrollados, como las de las ciudades más grandes de América Latina y el Caribe, las pruebas de aguas residuales se realizan con mayor frecuencia en instalaciones de tratamiento de aguas residuales. Los entornos de vivienda conjugada (edificios en los que la gente vive muy cerca, como residencias universitarias, prisiones e instalaciones de cuidados a largo plazo) también son sitios de recolección comunes para la vigilancia de COVID-19. El uso de pruebas de aguas residuales también está aumentando en sistemas de saneamiento menos desarrollados o específicos del sitio, como lagunas de aguas residuales, recolección de aguas residuales en zanjas abiertas, aguas residuales en camiones y sistemas de recolección de aviones.



La vigilancia de las aguas residuales requiere que personas de diferentes disciplinas trabajen juntas.



Se pueden tomar muestras en cualquier lugar donde haya aguas residuales.

Photos credit: Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) / Luis Domínguez

Existe un equilibrio y una compensación entre los diferentes tipos de ubicaciones de recolección de muestras, con poblaciones grandes y pequeñas que brindan usos complementarios y asequibilidad (figura 2). En una gran ciudad, una sola muestra de una gran instalación de tratamiento puede cubrir un millón de personas o más, proporcionando así una medida muy eficiente del nivel general de SARS-CoV-2 que circula en una población. Pero esa prueba proporciona poca información sobre dónde está circulando específicamente el virus y dónde específicamente puede haber un nuevo riesgo de transmisión.

Por el contrario, las pruebas en un vecindario o área con un sistema de aguas residuales menos desarrollado a menudo requieren más muestreo porque cada prueba representa una población pequeña. Pero medir el SARS-CoV-2 en una población pequeña puede ayudar a señalar el comienzo de un nuevo brote o un pico en una población específica. Luego, esa población específica puede ser objeto de pruebas clínicas individuales para identificar a las personas asintomáticas o al comienzo de su período infeccioso.

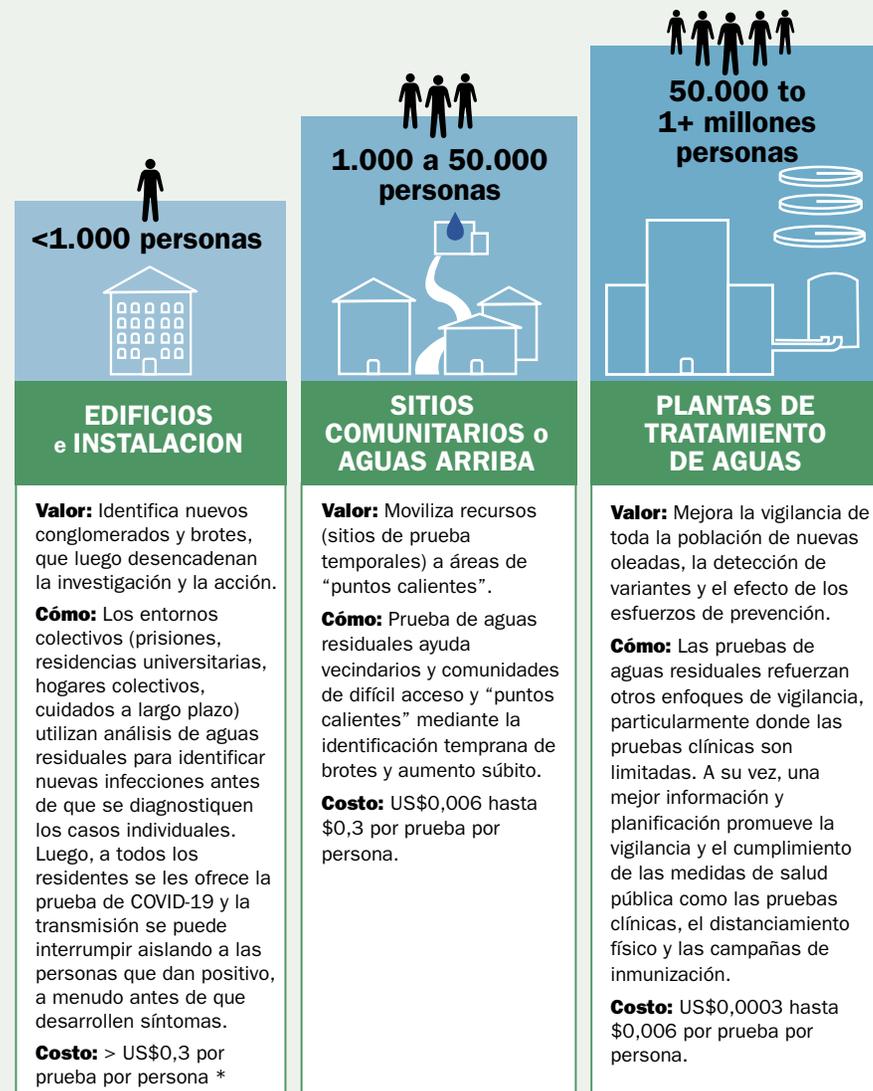
En la actualidad, existen ejemplos en todo el mundo de análisis de aguas residuales en poblaciones pequeñas, desde cientos de personas hasta decenas de miles, donde la identificación temprana de brotes y picos ha llevado a mejores pruebas clínicas, control de salud pública y, en última instancia, una interrupción en la propagación de COVID-19 (Manuel et al. 2021).

Aborda los cuatro impulsores clave de la pandemia

Para contener y controlar el COVID-19, los países necesitan planes estratégicos multifacéticos. Para las pruebas, no existe un enfoque único para todos. Las actividades de vigilancia a nivel de población, como las pruebas de aguas residuales, son un componente subestimado pero vital de la planificación nacional para la preparación y la respuesta ante una pandemia.

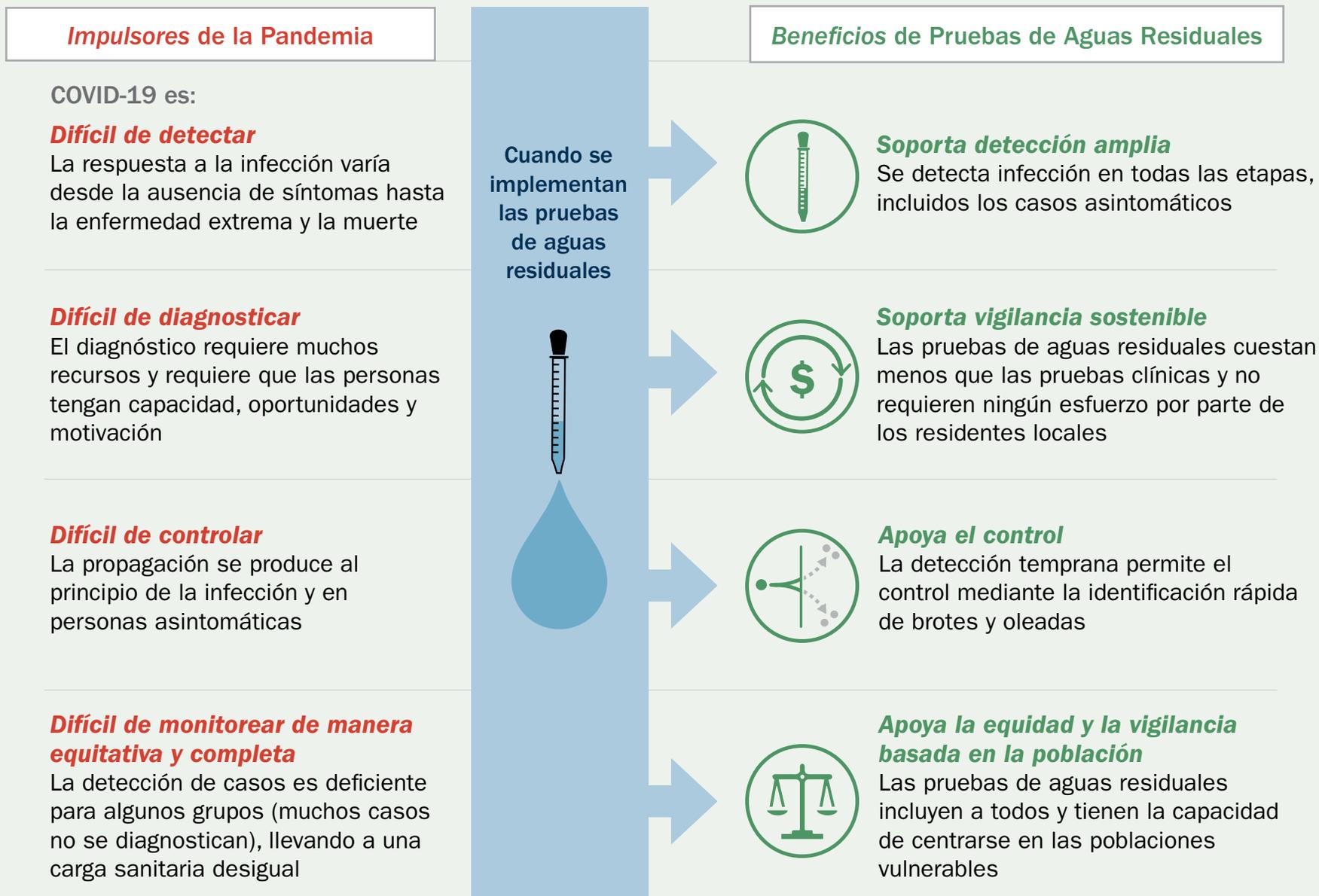
Las pruebas de aguas residuales han ganado atención porque tienen el potencial de abordar cuatro factores clave que impulsan los desafíos de esta pandemia (figura 3).

Figura 2. El tamaño de la población de la ubicación de la muestra conduce a diferentes acciones de salud pública



* Basado en un costo de US\$300 por prueba de aguas residuales. Ver [página 42, Estimar el costo y los recursos necesarios](#), para obtener más detalles sobre la estimación de los costos de las pruebas.

Figura 3. Motores de la pandemia de COVID-19 y cómo las pruebas de aguas residuales los abordan



COVID-19 es:

- 1) **Difícil de detectar.** La gravedad de la enfermedad varía mucho. Las personas infectadas pueden no presentar ningún síntoma o enfermarse gravemente y eventualmente morir.
- 2) **Difícil de diagnosticar.** Los diagnósticos individuales son costosos, lo que dificulta que los países mantengan su infraestructura de diagnóstico a medida que aumenta el número de casos.
- 3) **Difícil de controlar.** Una vez que se produce un brote o una ola, la propagación de la enfermedad es difícil de controlar. La transmisión ocurre comúnmente en las primeras etapas de la infección de una persona y en personas asintomáticas. Las variantes de preocupación son cada vez más transmisibles. Identificar los brotes, las sobretensiones y las olas lo antes posible es, por lo tanto, fundamental.
- 4) **Difícil de monitorear de manera equitativa y completa.** Las desigualdades entre los grupos de población se manifiestan en todos los aspectos de esta pandemia. Desde una perspectiva de salud pública, existen inequidades en la detección de casos, la vigilancia y la carga de morbilidad. La prevención, el control y el tratamiento de la COVID-19 ha supuesto un desafío para poblaciones enteras y para grupos de difícil acceso, especialmente en los países de ingresos bajos y medios. Los brotes se propagan rápidamente en densos asentamientos informales (recuadro 1). La atención médica eficaz ha reducido las muertes por COVID-19 en más del 50 por ciento donde dicha atención está disponible. Sin embargo, las desigualdades en el acceso a la atención médica son generalizadas en América Latina y el Caribe y se agravan durante los brotes cuando las instalaciones de atención médica locales se ven abrumadas.

Las pruebas de aguas residuales ofrecen una forma relativamente económica de ayudar a los países a hacer frente a estos cuatro desafíos (para obtener más información sobre los costos, consulte a continuación, así como la sección 4, Hacia un programa nacional de vigilancia de aguas residuales). Al superar las brechas importantes en la caja de herramientas de vigilancia, las pruebas de aguas residuales permiten una detección amplia, sostenible, temprana y equitativa (en toda la población) de la propagación del COVID-19. La Figura 3 describe estos beneficios, y los ampliamos brevemente en las páginas siguientes.

crédito de la fotografía: U.S., Pacific Fleet



Las pruebas clínicas, como se muestra aquí, han sido el pilar de la vigilancia de Covid-19. Las pruebas de aguas residuales complementan las pruebas clínicas para una detección amplia, sostenible, temprana y equitativa (en toda la población) de la propagación de COVID-19.

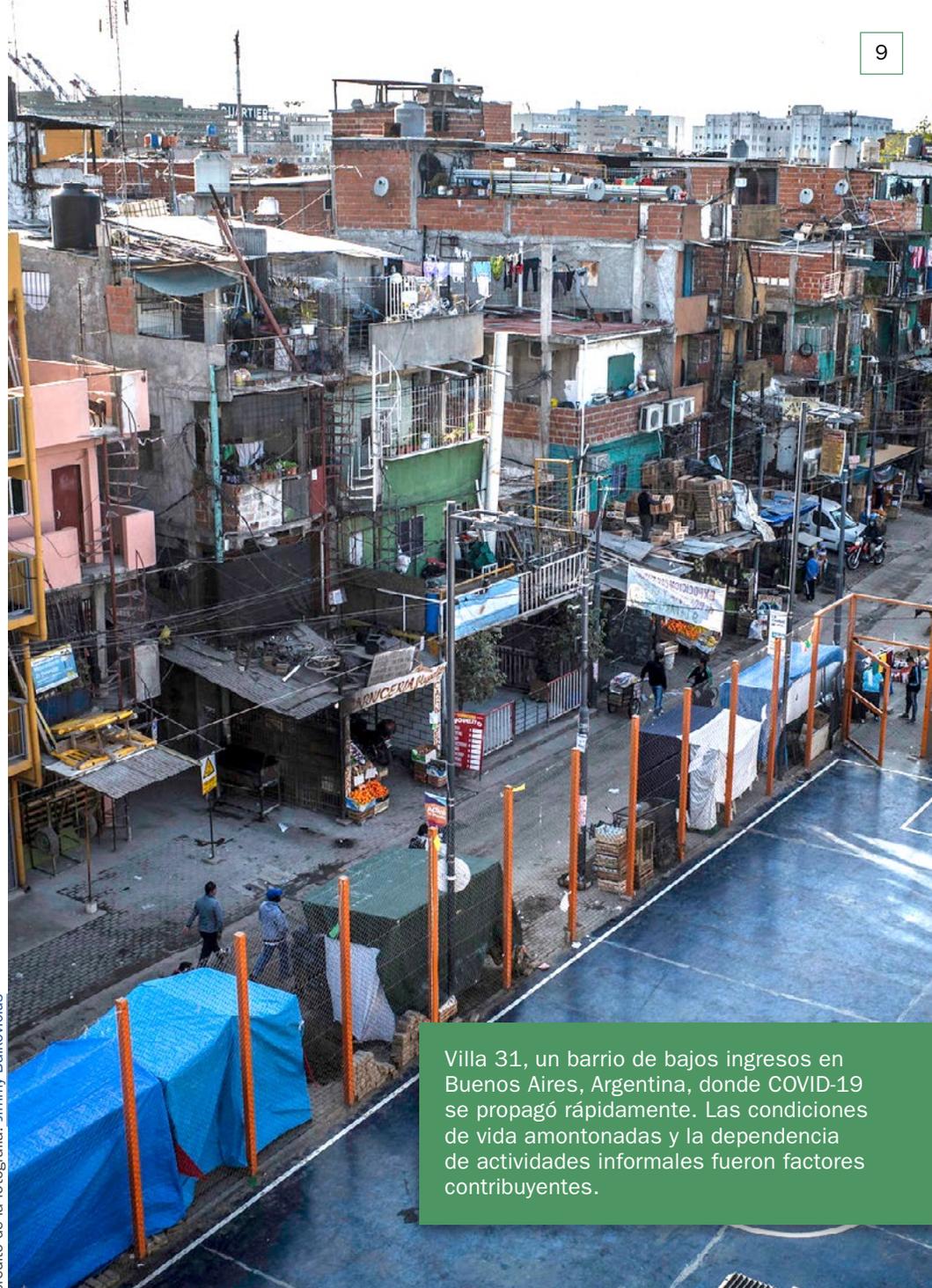
Recuadro 1. Villa 31: Los brotes aíslan densos vecindarios informales

En el Gran Buenos Aires, que fue la zona cero de la pandemia de COVID-19 en Argentina, las “villas” de barrios de bajos ingresos eran las más afectadas al comienzo de la crisis del COVID-19. Había dos factores principales que impulsaban la alta vulnerabilidad de las villas:

- 1) **Condiciones de vida amontonadas.** Es posible que más de 10 personas vivan en un mismo hogar confinado y amontonado con estrecho contacto y, a menudo, sin fácil acceso a agua potable y saneamiento.
- 2) **Gran dependencia de las actividades económicas informales.** El cumplimiento de las políticas de bloqueo es un desafío sin apoyo económico o estabilidad.

Por ejemplo, Villa 31 es la más antigua de las villas de Buenos Aires. Se desarrolló en la década de 1940 sobre los restos de la Villa Desocupación, un asentamiento construido tras la crisis económica de 1929 por inmigrantes europeos, y destruido por las autoridades argentinas en 1935. Cuando se fundó, la Villa 31 reunía principalmente a inmigrantes, y fue una de las pocas villas de Buenos Aires que no fue demolida. En estos barrios pobres y densamente poblados, el virus se propagó rápidamente, dando lugar a períodos de aislamiento obligatorio del resto de la ciudad. Durante el aislamiento, las autoridades llevaron a cabo programas de pruebas masivas que revelaron la propagación del virus entre el 5 y el 10 por ciento de la población.

crédito de la fotografía: Jimmy Baikovicius



Villa 31, un barrio de bajos ingresos en Buenos Aires, Argentina, donde COVID-19 se propagó rápidamente. Las condiciones de vida amontonadas y la dependencia de actividades informales fueron factores contribuyentes.



Admite una detección amplia en todas las etapas

Las pruebas de aguas residuales incluyen a personas en todas las etapas de la enfermedad, lo que las convierte en una herramienta valiosa para la detección temprana de brotes. Como se muestra en la figura 4, las personas excretan el SARS-CoV-2 en las heces antes de desarrollar síntomas o si permanecen asintomáticas, y la diseminación viral es mayor en los primeros días de la infección, cuando las personas se encuentran en las primeras etapas de la enfermedad. Otros tipos de vigilancia, como las pruebas de las personas enfermas u hospitalizadas, solo capturan los casos después de que las personas han desarrollado síntomas, aunque el rastreo de contactos identifica a las personas que están presintomáticas o asintomáticas.

Para la detección temprana de un brote, las pruebas de aguas residuales deben realizarse con frecuencia y en los lugares correctos. Para obtener más información sobre este tema, consulte Cómo se realizan las pruebas de aguas residuales en la sección 3, Caja de herramientas de vigilancia de aguas residuales.

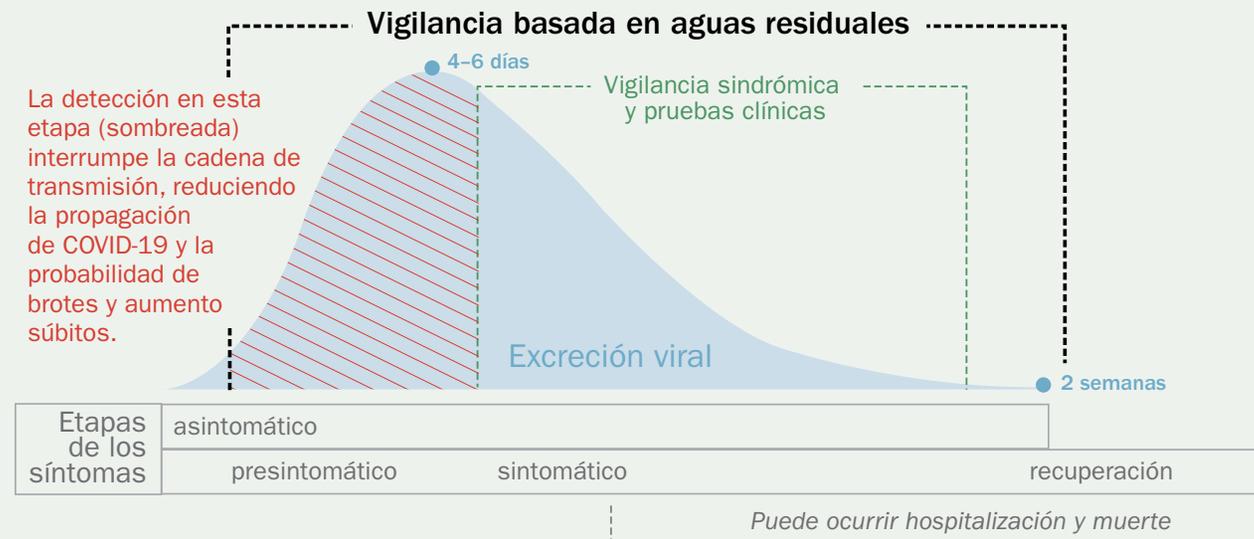


Apoya la vigilancia sostenible

Las pruebas de aguas residuales requieren menos recursos que las pruebas clínicas y no necesitan servicios clínicos ni laboratorios clínicos que se ven sometidos a muchas demandas pandémicas. En cambio, las pruebas de aguas residuales utilizan ingenieros de aguas residuales y personal de servicios públicos municipales. El ensayo de diagnóstico (RT-qPCR) para pruebas de aguas residuales sigue el mismo enfoque que las pruebas clínicas, pero las pruebas son realizadas por laboratorios de pruebas ambientales (figuras 5 y 6).

Las pruebas de aguas residuales tampoco requieren ningún esfuerzo por parte de las personas que están incluidas en esta vigilancia de COVID-19 (OMS 2020a, 2020b). Las pruebas clínicas requieren que las personas tengan la capacidad tanto física como mental para obtener una prueba clínica, junto con suficientes oportunidades y motivación. Se ha descubierto que la motivación para las pruebas clínicas es mayor durante el pico de las ondas COVID-19, pero las pruebas continúan siendo esen-

Figura 4. Las pruebas de aguas residuales identifican personas a lo largo de una enfermedad aguda COVID-19



Nota: Los plazos de excreción viral son aproximados.



Centrífuga que se utiliza para concentrar muestras de aguas residuales antes de medir el nivel de SARS-CoV-2. Las pruebas de aguas residuales requieren más pasos de medición en comparación con las pruebas clínicas de SARS-CoV-2.

crédito de la fotografía: AYSA

ciales durante los períodos de baja transmisión para identificar nuevos brotes y oleadas (Hasell et al. 2020).

Los requisitos de recursos para las pruebas de aguas residuales suelen ser mucho más bajos que para las pruebas clínicas. El costo total de las pruebas clínicas aumenta considerablemente durante los picos y oleadas, mientras que para las pruebas de aguas residuales el costo generalmente permanece constante (figura 7). Esto se debe a que los costos de las pruebas clínicas son proporcionales a la cantidad de personas analizadas, mientras que los costos de las pruebas de aguas residuales son proporcionales al número de lugares en los que se toman muestras, lo que no cambia mucho con la cantidad de personas cubiertas por la prueba. Las pruebas de aguas residuales se realizan normalmente dos o tres veces por semana, pero la frecuencia puede aumentar o disminuir según el nivel de SARS-CoV-2 circulante y también las características locales del sistema de aguas residuales.

El costo de implementar y mantener un programa de análisis de aguas residuales puede variar 10 veces o más. Un punto de partida para planificar una estrategia nacional de análisis de aguas residuales es US\$1 por persona durante el primer año. Sin embargo, los costos pueden variar de US\$0,20 a más de \$3 por persona, dependiendo de la proporción de la población atendida por las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, la frecuencia de las pruebas y otros factores (Hart y Halden 2020; Gawlik et al. 2021; Keshaviah et al. 2021). La Sección 4, Hacia un Programa Nacional de Vigilancia de Aguas Residuales (Fase 2 – Desarrollar) describe más en detalle los requisitos de recursos y, brevemente, cómo se pueden estimar los costos.

Varios países y regiones comienzan de a poco, poniendo a prueba las pruebas de aguas residuales en unos pocos sitios, y luego se expanden a sitios adicionales después de haber establecido la infraestructura necesaria, incluida la logística y la integración con el sistema de vigilancia de la salud pública.

1 Resumen de la situación

2 ¿Por qué realizar pruebas de aguas residuales para el SARS-CoV-2?

3 Caja de herramientas de vigilancia de aguas residuales

4 Hacia un programa nacional de vigilancia de aguas residuales

Figura 5. Requisitos de recursos para las pruebas clínicas frente al costo de las pruebas de aguas residuales

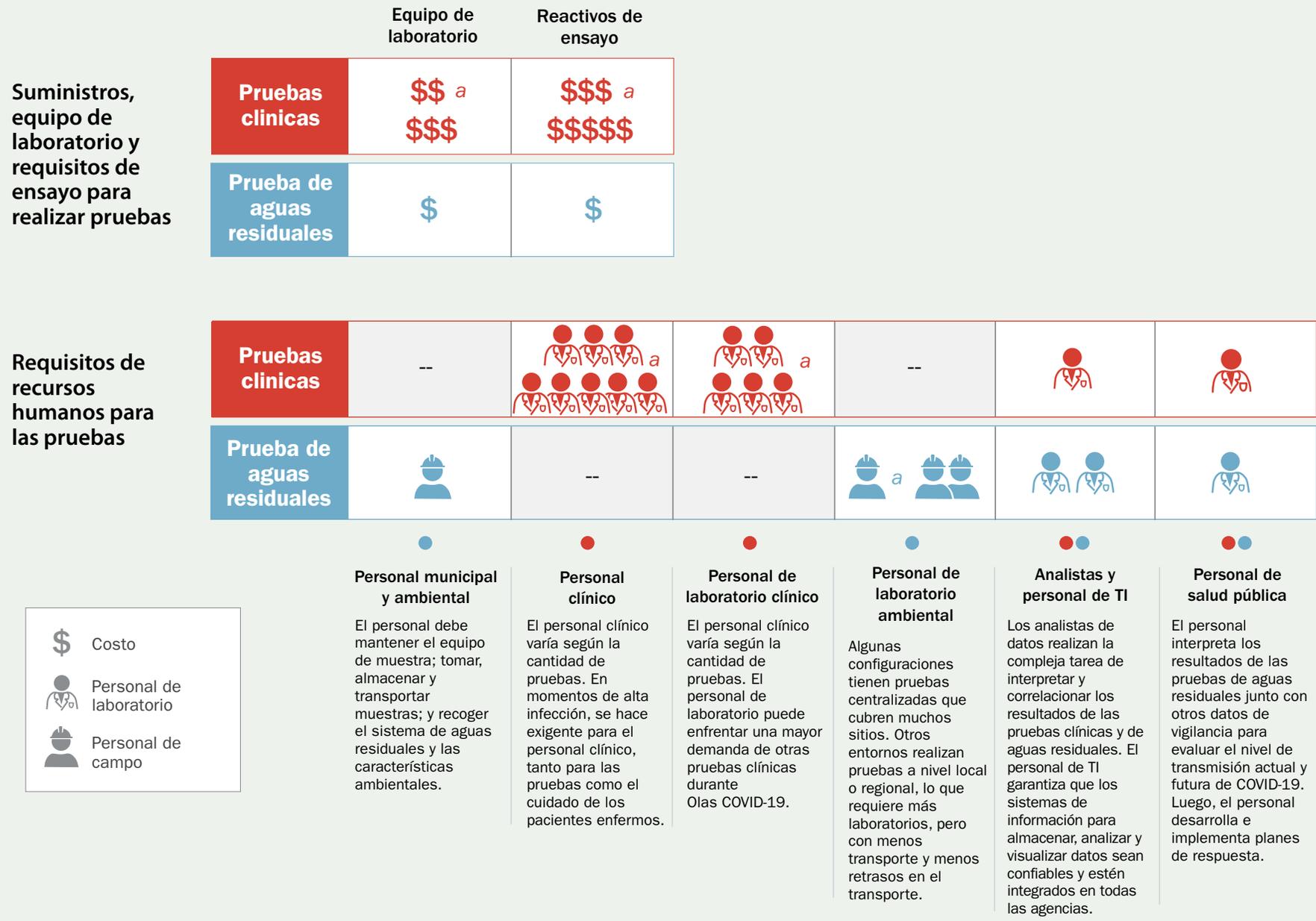
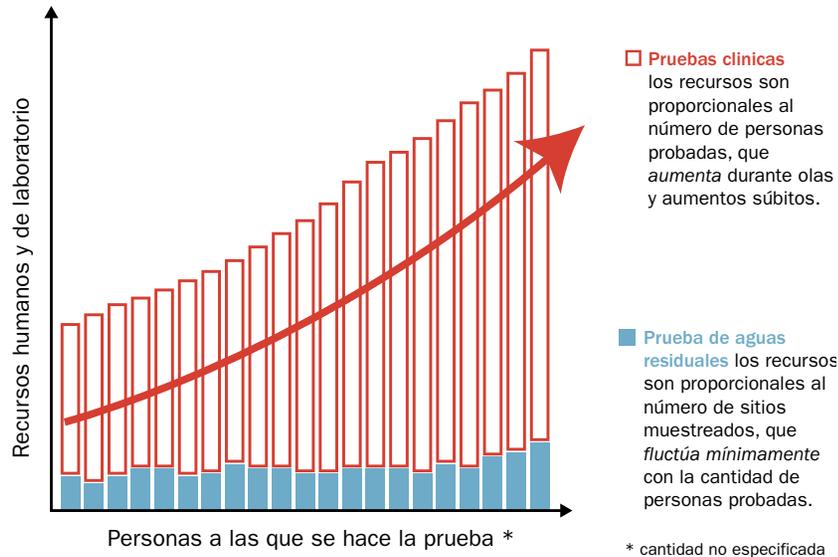


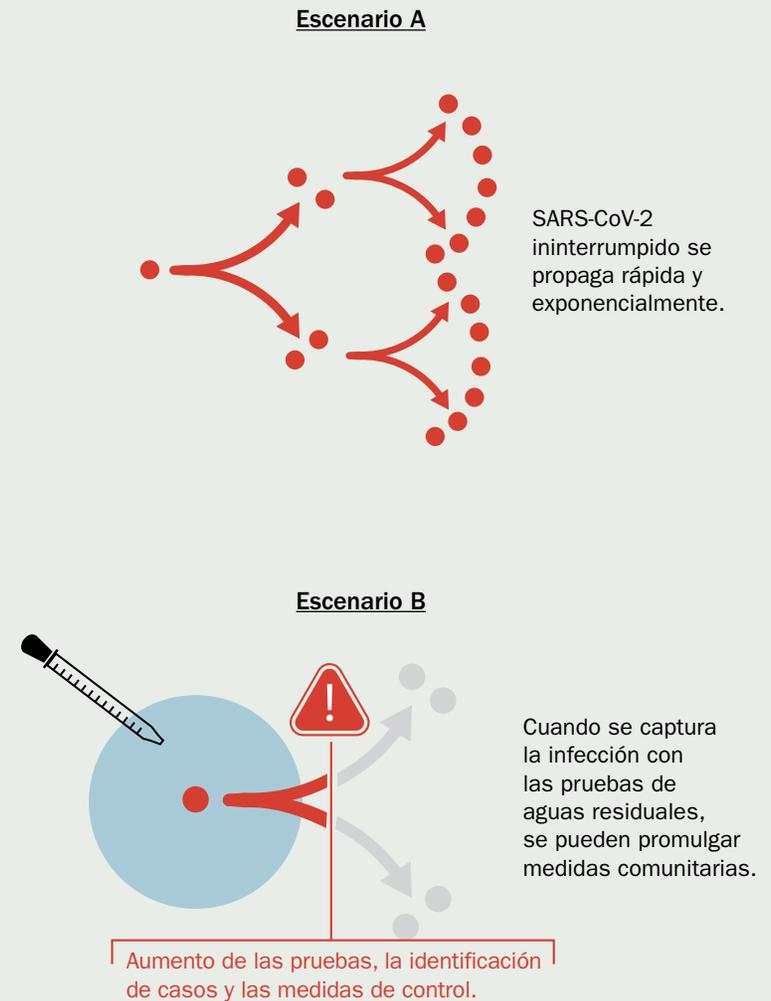
Figura 6. Recursos de pruebas clínicas y de aguas residuales



Apoya el control de brotes, picos y olas

Las pruebas de aguas residuales han identificado grupos de casos antes de que progresen a una transmisión sostenida. Esta alerta temprana crítica de posibles brotes y oleadas ha permitido a los funcionarios de salud pública involucrar a las comunidades e implementar rápidamente medidas de control (figura 7). Como se muestra en la figura 2, las pruebas de aguas residuales pueden ayudar a controlar COVID-19 en entornos con poblaciones pequeñas a grandes. En la sección 3, describimos cuatro usos diferentes de pruebas de aguas residuales con son utilizadas en todo el mundo para controlar COVID-19.

Figura 7. La identificación temprana de picos y olas es fundamental para el control





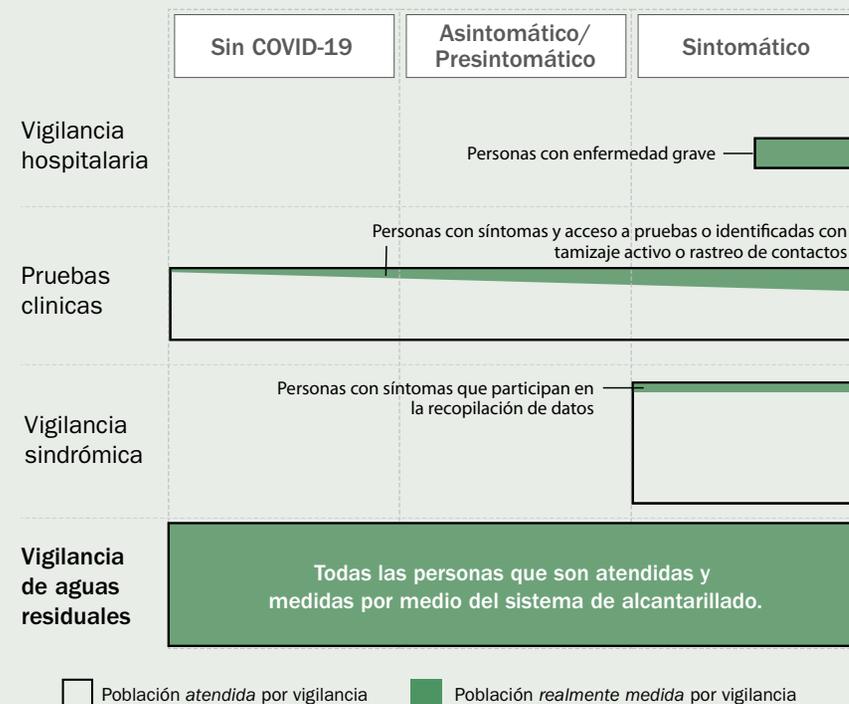
Apoya la equidad y la vigilancia basada en la población

Las pruebas de aguas residuales se pueden utilizar para poblaciones amplias o con un enfoque en grupos de difícil acceso y desatendidos. Debido a que captura a todos los que usan ese sistema de aguas residuales, las pruebas de aguas residuales incluyen a las personas que no tienen acceso a las pruebas clínicas para COVID-19. Las poblaciones vulnerables pueden ser un objetivo específico mediante la recolección de aguas residuales de vecindarios o entornos de congregación con un mayor riesgo de COVID-19.

Hasta el 100 por ciento de las personas en un área definida pueden ser capturadas mediante pruebas de aguas residuales, según el tipo y la extensión del sistema de alcantarillado. Como se ilustra en la figura 8, otros enfoques para la vigilancia de COVID-19 cubren proporciones mucho más pequeñas de la población:

- La vigilancia hospitalaria captura a las personas con COVID-19 que se enferman gravemente y reciben atención hospitalaria, aproximadamente el 5 por ciento de las personas con COVID-19 en general. Este enfoque funciona bien para crear una estimación basada en la población de enfermedades graves donde hay buen acceso a la atención médica. La proporción de personas hospitalizadas ha sido menor entre los más jóvenes, aunque la transmisión es más común entre ellos.
- Las pruebas clínicas capturan aproximadamente del 10 al 50 por ciento de las personas con COVID-19, dependiendo de qué tan disponibles estén las pruebas en el área, qué tan activamente se promuevan las pruebas y qué etapa de la pandemia está experimentando el área local. Algunos grupos tienen menos probabilidades de hacerse la prueba y existe la preocupación de que las pruebas voluntarias disminuyan a medida que la pandemia disminuya a nivel local.
- La vigilancia sindrómica captura a las personas que tienen y notifican síntomas de COVID-19. Este enfoque es adecuado para poblaciones específicas, como escuelas y lugares de trabajo. Entre el 20 y el 70 por ciento de las personas con COVID-19 tienen síntomas (proporciones más bajas entre las personas más jóvenes), pero es probable que menos del 1 por ciento de la población general participe en la vigilancia sindrómica continua, como informar los síntomas a través de una aplicación de teléfono inteligente.

Figura 8. Cobertura poblacional de los enfoques de vigilancia de COVID-19



Nota: Para poblaciones específicas, ubique sitios de prueba de aguas residuales en vecindarios de alto riesgo, comunidades de difícil acceso y convivencia (hogares de cuidado a largo plazo, prisiones, residencias universitarias, etc.)

Las aguas residuales son una lente para la salud de nuestra comunidad

El surgimiento y el éxito de las pruebas de aguas residuales durante la pandemia de COVID-19 han puesto de manifiesto su potencial como una herramienta de vigilancia de la salud pública multifacética con funciones que van más allá de la pandemia actual (figura 9).

Las aguas residuales se describen como una herramienta de vigilancia «subterránea» que complementa la vigilancia «sobre el suelo» al proporcionar una lente a la salud amplia y oculta de nuestras comunidades de dos maneras. Primero, gran parte de lo que comemos o ingerimos sale en nuestras heces, incluidos medicamentos, toxinas, pesticidas y otros compuestos químicos a los que hemos estado expuestos. Existe una creciente apreciación a través de la metagenómica (el estudio de las comunidades microbianas) de que nuestra salud se refleja en nuestras heces. En segundo lugar, una variedad de patógenos infecciosos, que causan influenza, hepatitis A, poliomielitis u otras enfermedades además de COVID-19, se excretan en las heces. Se puede analizar una sola muestra de aguas residuales en busca de múltiples patógenos para proporcionar información sobre las tendencias de infección en una comunidad.

Más allá de la salud humana, el análisis de aguas residuales es parte de un enfoque One Health que explícitamente integra la salud humana, animal y ambiental con un resultado final de mejorar la seguridad sanitaria global y lograr ganancias en desarrollo (Banco Mundial 2021a; Banco Mundial 2021b). Setenta y cinco por ciento de las enfermedades infecciosas emergentes en humanos tienen su origen en animales (Ogden et al. 2017).

La siguiente sección, Caja de herramientas de vigilancia de aguas residuales, describe cómo se están utilizando las pruebas de aguas residuales en la pandemia actual, cómo se realizan, qué recursos se requieren y qué desafíos esperar en la implementación de un programa de pruebas de aguas residuales para COVID-19.

Figura 9. Usos de las pruebas de aguas residuales más allá de la pandemia actual



3 Caja de herramientas de vigilancia de aguas residuales

Los requisitos, puntos fuertes y desafíos de implementar un programa de vigilancia de aguas residuales para COVID-19

En esta sección, describimos lo que implica realizar pruebas de aguas residuales y destacamos tanto los puntos fuertes como las limitaciones actuales de esta herramienta. Describimos cuatro usos de las pruebas de aguas residuales para el SARS-CoV-2: detección temprana de brotes y picos, vigilancia de toda la población, vigilancia de poblaciones específicas y vigilancia de variantes motivo de preocupación. Para cada tipo de uso, presentamos un ejemplo del mundo real entre el creciente número de ejemplos en todo el mundo. En cada ejemplo de caso, las pruebas de aguas residuales han informado la acción de la salud pública para controlar la propagación de COVID-19.

En ejemplos en todo el mundo, las pruebas de aguas residuales han dado como resultado una acción política que condujo a una interrupción o reducción de la transmisión de COVID-19. Este resultado ha convencido a los funcionarios locales de que sus primeros esfuerzos para realizar pruebas piloto de aguas residuales produjeron un valioso retorno de la inversión. Por ejemplo, numerosos campus universitarios que utilizaron pruebas de aguas residuales



crédito de la fotografía: JEC / WATERLAT GOBACIT, Paraguay

1 Resumen de la situación

2 ¿Por qué realizar pruebas de aguas residuales para el SARS-CoV-2?

3 Caja de herramientas de vigilancia de aguas residuales

4 Hacia un programa nacional de vigilancia de aguas residuales

en el año académico 2020 identificaron casos asintomáticos de COVID-19 en residencias de estudiantes. Estos esfuerzos tuvieron tanto éxito que, en algunas jurisdicciones, los laboratorios de pruebas de aguas residuales han tenido dificultades para satisfacer la creciente demanda de vigilancia universitaria en 2021.

Al mismo tiempo, existe la preocupación de que las pruebas de aguas residuales requieran un mayor desarrollo antes de pasar a un uso generalizado. Los críticos tienen varias preocupaciones. En primer lugar, por cada caso de uso que muestre beneficios, es probable que haya más situaciones en las que las aguas residuales no aporten valor respecto a los enfoques de vigilancia ya existentes de COVID-19. Las evaluaciones han consistido en revisiones de informes de casos y pueden estar sesgadas hacia la descripción de beneficios (Manuel et al. 2021). En segundo lugar, a pesar del rápido desarrollo de la vigilancia de las aguas residuales durante la pandemia, aún se está desarrollando y evaluando mucho el método. En tercer lugar, muchos programas se enfrentan al desafío de migrar de proyectos piloto dirigidos por laboratorios académicos a programas sostenibles a escala gestionados por la salud pública u otras agencias gubernamentales.

Cómo se realizan las pruebas de aguas residuales

La Figura 10 ilustra los pasos básicos en las pruebas de aguas residuales como una herramienta de vigilancia de COVID-19.

El último paso es de vital importancia: Una vez que se analizan las muestras, los hallazgos deben comunicarse a las agencias de salud pública y ambientales locales, regionales, nacionales e internacionales, donde se pueden interpretar junto con otros datos de COVID-19. Los datos también deben compartirse ampliamente con investigadores y otros en todo el mundo para avanzar en nuestra comprensión del COVID-19.

Las pruebas de aguas residuales son “locales” en términos de dónde se recolectan las muestras, pero los pasos necesarios para usar esas pruebas para informar una respuesta de salud pública — el análisis, la interpretación, la comunicación y la toma de decisiones — requieren una coordinación cuidadosa con las organizaciones regionales, nacionales e

incluso agencias y expertos internacionales. El papel fundamental de estas asociaciones es un tema a lo largo de este informe.

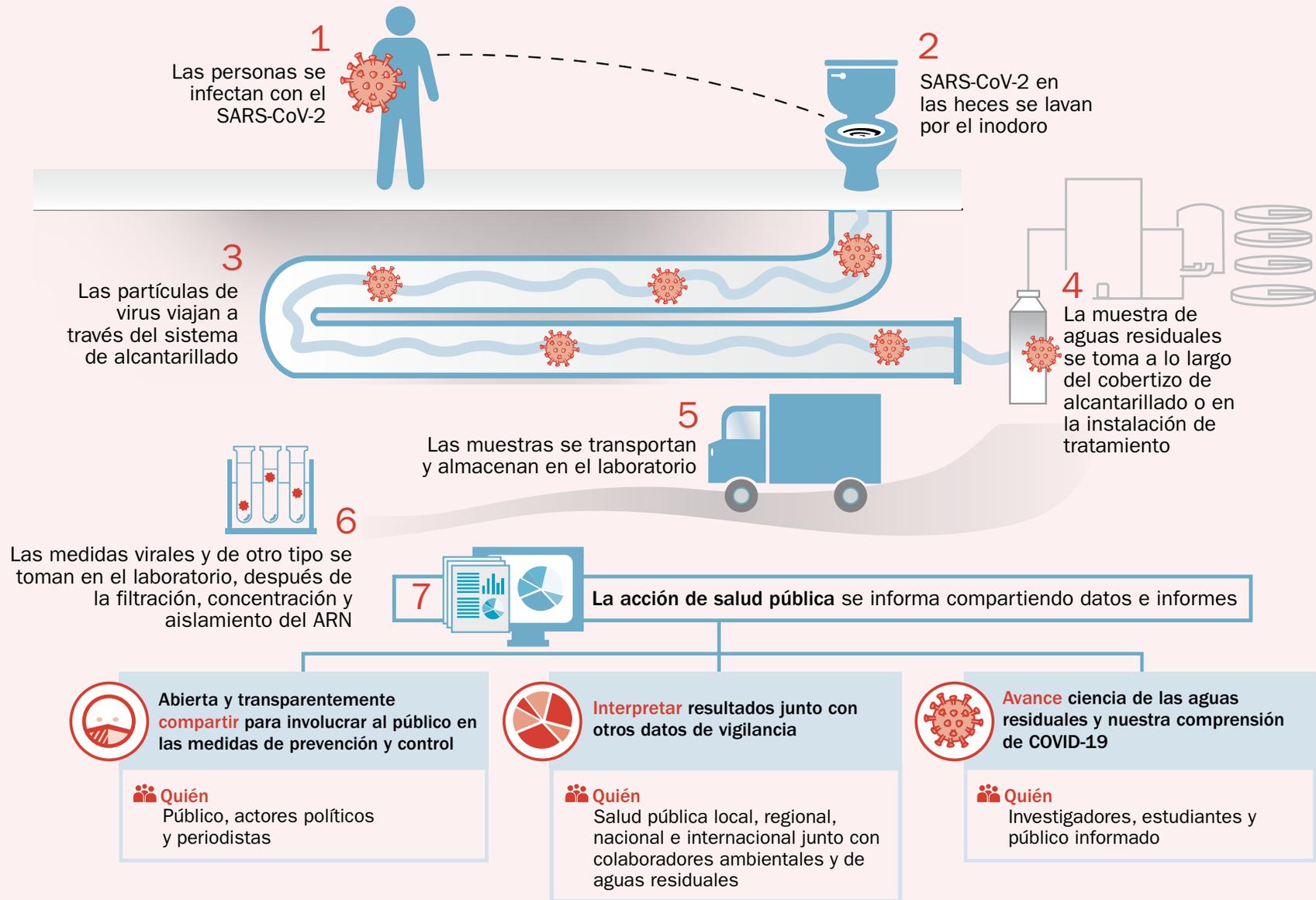
La colaboración y la coordinación entre los socios de análisis de aguas residuales son fundamentales para el éxito de los programas de análisis de aguas residuales. Muchos programas han luchado durante las altas demandas de la pandemia para formar equipos altamente integrados entre los socios clave: servicios públicos de aguas residuales municipales, laboratorios de análisis de aguas residuales y salud pública.



El muestreo de aguas residuales de flujo libre se utiliza para la vigilancia de vecindarios, campus universitarios y, en algunos entornos, instituciones grandes como hospitales y hogares de ancianos.

crédito de la fotografía: AYSA

Figura 10. Pasos para la prueba de aguas residuales

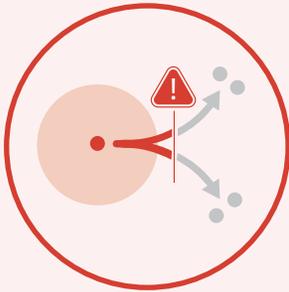


Cuatro usos de las pruebas de aguas residuales

Según sus atributos clave, identificación temprana de la circulación viral y vigilancia en toda la población, hay cuatro usos actuales de las pruebas de aguas residuales en la pandemia de COVID-19 (figura 11) (Keshaviah et al. 2021; Manuel et al. 2021; OMS 2020a, 2020b).

Figura 11. Cuatro usos de las pruebas de aguas residuales

Detección temprana de brotes y aumentos súbitos



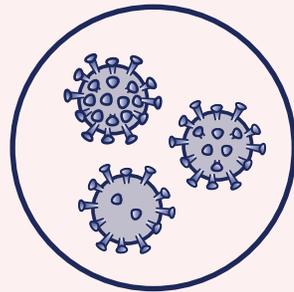
Vigilancia de toda la población



Vigilancia de población específica



Vigilancia de Variantes de cuidado



Detección temprana de brotes y picos

Debido a que el ARN del SARS-CoV-2 se puede detectar en las aguas residuales antes de que una comunidad o población tenga casos clínicos de COVID-19 confirmados por laboratorio, las pruebas de aguas residuales se utilizan para detectar brotes antes de que se confirme la transmisión y para identificar picos u olas en las que haya una transmisión establecida. El nivel de detección varía según las características del sistema de aguas residuales y el método de análisis, pero varía entre 1 y 50 casos nuevos de COVID-19 por día para una población de 100.000 personas (Wu et al. 2021).

Vea el ejemplo de caso de Yellowknife, Territorios del Noroeste, Canadá.

Vigilancia de toda la población

Debido a que las pruebas de aguas residuales brindan datos para toda la población (se incluye a todos los que usan el sistema de alcantarillado), se están utilizando para complementar otras formas de vigilancia para informar la necesidad y monitorear la efectividad de las medidas de prevención y control como la vacunación.

Vea el ejemplo de caso de los Países Bajos.

Vigilancia de poblaciones específicas

Debido a que las pruebas de aguas residuales también se pueden realizar en sitios específicos, es ideal para la detección temprana en poblaciones específicas y entornos congregados, como centros de atención a largo plazo, correccionales, refugios, residencias universitarias y lugares de trabajo. Las personas que no se someten a las pruebas clínicas pueden ser incluidas en las pruebas de aguas residuales.

Vea el ejemplo de caso de la Universidad de Arizona, Estados Unidos.

Variantes de vigilancia de inquietudes

Las pruebas de aguas residuales pueden evaluar la prevalencia de variantes preocupantes (VOC), utilizando el enfoque de dos pasos que se usa típicamente en las pruebas de muestras clínicas. En primer lugar, las muestras de aguas residuales pueden analizarse en busca de variantes de virus mediante pruebas clínicas de RT-qPCR. La prueba RT-qPCR para variantes puede examinar mutaciones en uno o más VOC, o puede buscar las secuencias de ARN para una variante específica (Lee et al. 2021). En segundo lugar, el ARN de una muestra determinada se puede secuenciar completamente para confirmar el tipo específico de una variante conocida y detectar potencialmente nuevas mutaciones. Para las pruebas de aguas residuales, se pueden determinar secuencias genómicas de SARS-CoV-2 casi completas utilizando ensayos de metagenoma, también conocidos como genoma de la comunidad de consenso (Landgraaf et al. 2021).

Los países tienen distintos niveles de capacidad para realizar pruebas de COV en el entorno clínico. La secuenciación se puede realizar en una muestra de población o en un subconjunto de pruebas de detección positivas entre grupos de interés, como viajeros, personas con enfermedades graves o personas con una carga viral alta. Uno de los puntos fuertes de las pruebas de aguas residuales es la capacidad de proporcionar una evaluación de los COV en toda la población en países que, de otro modo, solo podrían examinar poblaciones específicas. En el ámbito clínico, la evaluación de los COV en toda la población es difícil y costosa, mientras que las pruebas de los COV en las aguas residuales requieren menos recursos porque una evaluación puede abarcar a toda la población.

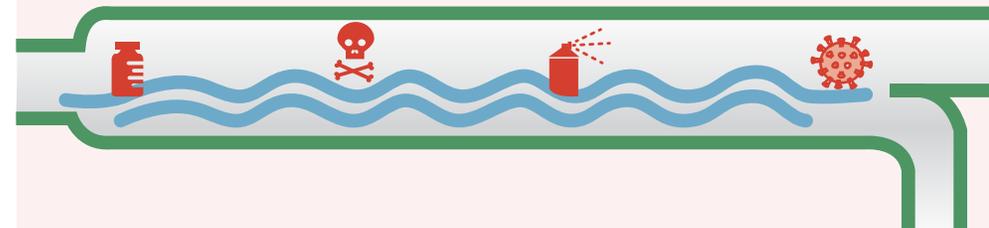
Vea el ejemplo de caso sobre la vigilancia de COV a nivel nacional de los Estados Unidos.

Usos potenciales futuros

Además de las cuatro formas en que se utilizan principalmente las pruebas de aguas residuales para COVID-19, se han identificado otros usos potenciales:

- **Vigilancia en etapas posteriores.** Monitoreo de brotes, oleadas y reaparición del SARS-CoV-2 una vez que se haya logrado una cobertura de vacunación generalizada
- **Seguimiento de otros patógenos y riesgos para la salud.** Aplicar las pruebas de aguas residuales a otros patógenos y riesgos para la salud, como la resistencia a los medicamentos antimicrobianos y el monitoreo de medicamentos para el uso de drogas ilegales (Zuccato et al. 2005).

Las aguas residuales se describen como una herramienta de vigilancia «subterránea» que complementa la vigilancia «sobre el suelo» al proporcionar una lente a la salud amplia y oculta de nuestras comunidades.



Ejemplos de casos de usos

Detección temprana de brotes y picos — Yellowknife, Territorios del Noroeste, Canadá

Contexto. Pruebas municipales en una comunidad remota en el norte de Canadá, población de 20.000

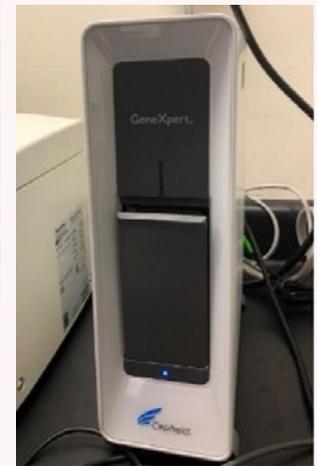
Resumen de la situación. Como comunidad remota, la ciudad de Yellowknife ha podido mantener COVID-19 “cero” durante períodos de un mes. El 9 de diciembre de 2020, con muy pocos casos (todos importados) y sin transmisión comunitaria, Yellowknife informó resultados positivos en las pruebas de aguas residuales. En respuesta, el Director de Salud Pública de los territorios emitió un anuncio y amplió las pruebas clínicas en la comunidad. Aproximadamente 1.500 viajeros recientes fueron contactados por teléfono y/o correo electrónico y se les animó a hacerse la prueba, incluso si no tenían síntomas. Además, también se recomendó a cualquier persona con síntomas que se hiciera la prueba. El 10 de diciembre, se identificaron cinco casos clínicos en viajeros recientes a los que luego se les extendió su período de autoaislamiento, y sus contactos fueron rastreados y puestos en cuarentena. No se informaron casos adicionales de COVID-19 y el ARN del SARS-CoV-2 en las aguas residuales cayó a niveles indetectables.

Valor en la estrategia de vigilancia. Las aguas residuales ofrecen a los municipios un sistema de alerta temprana cuando o si pueden lograr un nivel bajo de casos de COVID-19. En Yellowknife, a la oficina territorial de salud pública le preocupaba que los viajeros recientes no siempre se autoaislaran, como era necesario. Consideraron que las pruebas de aguas residuales indudablemente evitaron la transmisión comunitaria sostenida.

Desafíos y lecciones aprendidas. Como pequeña comunidad remota, Yellowknife no tenía la capacidad de analizar sus muestras de aguas residuales a nivel local. Las muestras se envían en avión a Winnipeg, Manitoba, y se analizan en el Laboratorio Nacional de Microbiología de Canadá, a más de 1.500 km de distancia. Los tiempos de respuesta fueron de una semana a diez días. Desde entonces, el laboratorio ambiental local de Yellowknife ha agregado pruebas RT-qPCR y GeneXpert a sus

capacidades. El programa Yellowknife ha demostrado ser tan útil que se ha expandido a otras comunidades mucho más pequeñas en los Territorios del Noroeste, desde una pequeña comunidad con solo 250 personas hasta la aldea de Tuktoyaktuk ubicada dentro del Círculo Polar Ártico. La mayoría de las comunidades participantes se abastecen de aguas residuales en camiones: los tanques de almacenamiento de los hogares se vacían con regularidad y se transportan en camiones a las lagunas de aguas residuales. En estas comunidades, las muestras se recolectan a medida que descargan los camiones.

Fuente: Servicios Sociales y de Salud, Gobierno de los Territorios del Noroeste, 2021; Heather Hannah, comunicación personal, noviembre de 2021



Photos credit: Heather Hannah

Encima: El ensayo GeneXpert de Yellowknife proporciona resultados de PCR locales rápidamente.

Imágenes de la izquierda: El suelo permanentemente congelado (permafrost) en el remoto norte de Canadá significa que las aguas residuales están por encima del suelo o se transportan en camiones. A pesar de los desafíos de las pruebas, la epidemiología basada en aguas residuales es una piedra angular de la vigilancia de COVID-19.

Ejemplos de casos de usos

Vigilancia de toda la población — Rotterdam, Holanda

Contexto. Pruebas en toda la población en una ciudad europea, con una población de 400.000

Resumen de la situación. Los holandeses son líderes en la vigilancia basada en aguas residuales y fueron uno de los primeros lugares en aislar el SARS-CoV-2 en las aguas residuales. Las pruebas de aguas residuales en Rotterdam comenzaron como un proyecto de investigación para identificar su valor agregado y evaluar si el SARS-CoV-2 detectado reflejaba una infección clínica por COVID-19. Seis socios locales y nacionales colaboraron estrechamente en las pruebas, la interpretación y la acción de salud pública. El éxito inicial demostró que la vigilancia de las aguas residuales identificó de manera confiable el SARS-CoV-2 antes del resurgimiento de los casos clínicos, y el programa se integró en la práctica de salud pública.

Las pruebas de aguas residuales se realizan tres veces por semana en nueve sitios de aguas residuales: cuatro estaciones de bombeo y cinco afluentes de plantas de tratamiento de diferentes áreas de la ciudad. Se realizó un emparejamiento cuidadoso mediante códigos postales con la población atendida y los datos de vigilancia clínica. Los resultados de las pruebas clínicas y de aguas residuales se analizan después de ajustar el flujo de aguas residuales y la población, mientras que las pruebas clínicas se ajustan para los retrasos de las pruebas y el número de pruebas. Los modelos de datos de aguas residuales se desarrollaron comparando los resultados con las pruebas de aguas residuales. La ciudad continúa monitoreando el COVID-19 usando vigilancia clínica y de aguas residuales.

Valor en la estrategia de vigilancia. La vigilancia de las aguas residuales proporciona a Rotterdam información valiosa más allá de lo que pueden proporcionar las pruebas clínicas. Los beneficios del valor agregado incluyen:

- **Identificación temprana del resurgimiento.** En septiembre de 2020, la vigilancia de las aguas residuales proporcionó una advertencia con seis días de anticipación. Desde entonces, las pruebas clínicas aumentaron y, para diciembre de 2020, la advertencia avanzada se redujo a 1,5 días.

- **Identificación de pruebas insuficientes en un área de la ciudad.** En respuesta, el programa agregó 10 ubicaciones de pruebas clínicas, incluido el uso de «autobuses de prueba» móviles para mejorar el acceso.
- **Evidencia adicional.** Las autoridades locales valoran una evaluación del estado de COVID-19 en áreas de la ciudad que sea independiente de las pruebas clínicas o la vigilancia sindrómica.

Desafíos y lecciones aprendidas. El programa de Rotterdam se enfrentó inicialmente a los retos de su cadena de suministro para la recogida y las pruebas de aguas residuales; los complejos análisis de datos que implicaban el examen y la correlación de los resultados de las pruebas clínicas y de las aguas residuales; y el limitado número de puntos de recogida de aguas residuales situados en toda la ciudad, que no permitían una vigilancia de toda la ciudad en alta resolución.

Las lecciones clave aprendidas son que el éxito depende de estos factores:

- Colaboración entre las autoridades locales de salud pública y del agua
- Normalización de datos clínicos para retrasos en las pruebas y número de pruebas
- Normalización de los datos del alcantarillado en cuanto a caudal y población
- Evaluación continua de datos de alcantarillado versus datos de incidencia
- Muestreo frecuente para respaldar el análisis de tendencias de la concentración normalizada de SARS-CoV-2 en aguas residuales

Fuente: <https://storymaps.arcgis.com/stories/8888f5bfb4704180afeda3d476f2aa63>



crédito de la fotografía:
Pouw Vervoer

Centro de pruebas móvil para mejorar el acceso cuando las pruebas de aguas residuales mostraron más infecciones por SARS-CoV-2 que las detectadas por las pruebas clínicas.

Ejemplos de casos de usos

Vigilancia de poblaciones específicas — Universidad de Arizona, Estados Unidos

Contexto. Pruebas de residencia en campus en la Universidad de Arizona, población de 9.000

Resumen de la situación. La Universidad de Arizona tiene una población de campus diversa, con estudiantes provenientes de muchos estados de EE. UU.

La Universidad de Arizona realizó pruebas de aguas residuales tres veces por semana cuando los estudiantes regresaron al campus en agosto de 2020. El 24 de agosto comenzaron las clases. El 25 de agosto se informó de una primera prueba positiva de aguas residuales. Mediante pruebas clínicas mejoradas durante los siguientes cuatro días, se identificaron tres casos clínicos. Los residentes fueron aislados y no se identificaron más casos.

Valor en la estrategia de vigilancia. El uso exitoso inicial de las pruebas de aguas residuales, junto con las pruebas clínicas, brindó la confianza de que el sistema de alerta temprana podría evitar brotes. La experiencia llevó a un mayor control de 13 dormitorios a principios de septiembre. Se identificaron casos clínicos y pruebas de aguas residuales positivas adicionales después del feriado del Día del Trabajo el 7 de septiembre. De estos casos, el 70 por ciento eran asintomáticos al momento del diagnóstico.

Desafíos y lecciones aprendidas. Hay muchos informes de vigilancia de aguas residuales en campus universitarios y universitarios con informes similares de detección temprana de SARS-CoV-2 que conducen a mejores pruebas y control de brotes. Una revisión de las pruebas de aguas residuales en 25 campus identificó una amplia gama de experiencias que incluyen desafíos inesperados y un rápido aprendizaje y adaptación de programas y expectativas. La colaboración -tanto dentro como fuera de la institución- resultó ser esencial (Harris-Lovett et al. 2021).

Fuente: Centro de Tecnología Sostenible de Agua y Energía de la Universidad de Arizona, 2020.



crédito de la fotografía: JR P

Campus de la Universidad de Arizona, Tuscon, donde comenzaron las pruebas de aguas residuales en agosto de 2020.

1 Resumen de la situación

2 ¿Por qué realizar pruebas de aguas residuales para el SARS-CoV-2?

3 Caja de herramientas de vigilancia de aguas residuales

4 Hacia un programa nacional de vigilancia de aguas residuales

Ejemplos de casos de usos

Variantes de vigilancia de inquietudes: Programa Nacional, Estados Unidos

Contexto. Pruebas de variantes de preocupación en los Estados Unidos, que representan a más de 90 millones de personas en los 50 estados y territorios.

Resumen de la situación. En el verano de 2021, el Departamento de Salud y Servicios Humanos (HHS) En el verano de 2021, Biobot recibió un contrato del Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos (HHS) en colaboración con los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC) para medir la cantidad de COVID-19 que circula en las comunidades analizando muestras de aguas residuales de todo Estados Unidos.

La vigilancia de la variante de preocupación se realizó durante dos períodos clave y utilizando dos enfoques: monitoreo de la variante alfa usando RT-qPCR desde mediados de marzo hasta principios de junio de 2021, y secuenciación genómica para monitorear las variantes delta, alfa y otras durante junio y agosto 2021, mientras Biobot trabajaba con HHS. Biobot es una empresa de análisis del sector privado que se especializa en epidemiología basada en aguas residuales y se asoció con Ginkgo Bioworks en los esfuerzos de secuenciación genómica, con Biobot realizando la preparación de muestras y análisis de datos y Ginkgo Bioworks realizando la secuenciación.

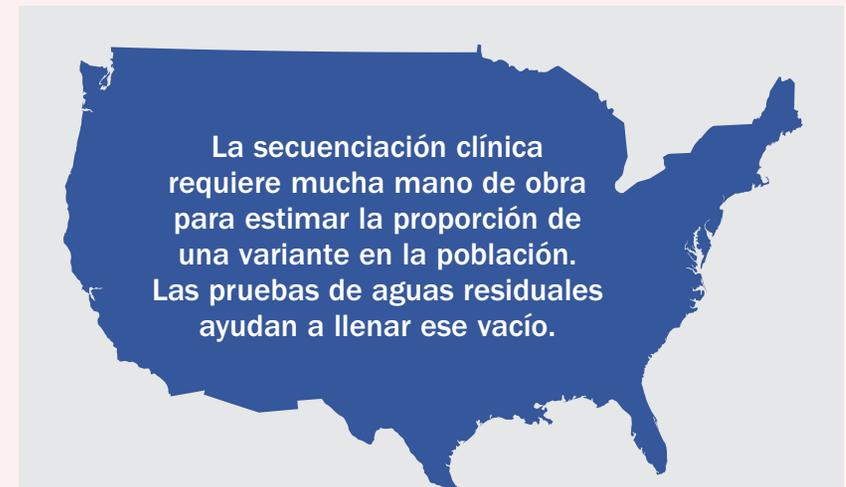
El monitoreo de RT-qPCR se realizó en 753 muestras de 83 ubicaciones para clientes selectos de Biobot, incluidas las plantas de tratamiento de aguas residuales y edificios. En este análisis dirigido, Biobot analizó tres mutaciones que son específicas de la variante alfa. Los resultados incluyeron tanto el título viral total encontrado en la muestra como el porcentaje que estaba compuesto por virus alfa vs. no alfa (Lee et al. 2021). La secuenciación genómica se realizó en más de 2.000 muestras de aguas residuales recolectadas de cientos de plantas de tratamiento de aguas residuales en los 50 estados de los Estados Unidos.

Valor en la estrategia de vigilancia. Es importante monitorear las nuevas variantes de interés porque pueden ser más transmisibles o virulentas que

la cepa original del SARS-CoV-2 o variantes anteriores. A medida que la variante alfa ganaba terreno en las comunidades a diferentes velocidades en la primavera de 2021, comprender la proporción de virus circulante atribuible a la variante alfa fue una información muy útil para los funcionarios de salud pública y los responsables de la toma de decisiones. Les ayudó a medir la magnitud del riesgo de propagación viral en sus comunidades y les informó cómo debían asignar los recursos. La secuenciación clínica del SARS-CoV-2 requiere mucha mano de obra y, a menudo, se realiza en poblaciones específicas, como pacientes hospitalizados, lo que plantea desafíos a la hora de estimar la proporción de una variante en la población. Las pruebas de aguas residuales ayudan a llenar ese vacío.

Desafíos y lecciones aprendidas. Los resultados preliminares confirmaron la promesa de aprovechar la vigilancia basada en aguas residuales como una herramienta para complementar la vigilancia genómica como un método adicional para detectar y cuantificar variantes de preocupaciones (por ejemplo, alfa, delta), así como otras variantes más raras (por ejemplo, mu, lambda).

Fuente: Biobot



Se requieren personas y asociaciones

La interpretación de los resultados de las pruebas de aguas residuales se basa en la experiencia colaborativa a nivel local donde se realizan las pruebas. Los tres socios principales son personal de salud pública local, servicios de aguas residuales municipales y laboratorios de análisis de aguas residuales (figura 12).

El personal de salud pública entiende los diferentes enfoques de la vigilancia de COVID-19. Saben cómo interpretar las pruebas de aguas residuales para el SARS-CoV-2 junto con las métricas tradicionales de enfermedades infecciosas que se utilizan para monitorear el COVID-19. También desarrollan e implementan una respuesta de salud pública considerando la probabilidad de transmisión adicional, los recursos disponibles y la efectividad de la intervención.

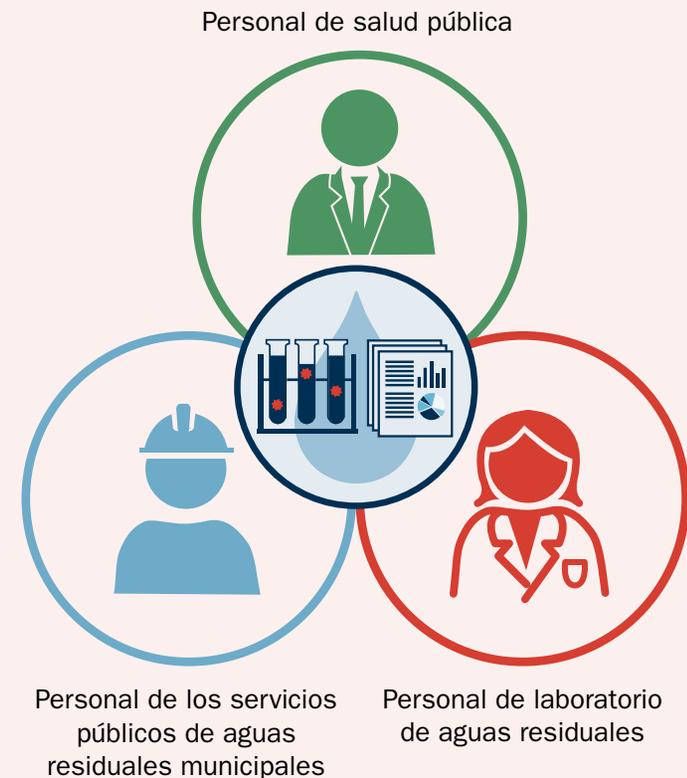
El personal de los servicios públicos de aguas residuales municipales comprende el sistema de aguas residuales y los factores que potencialmente afectan el tiempo de tránsito y la viabilidad del ARN. El personal municipal recolecta muestras de aguas residuales y aporta datos sobre el flujo de aguas residuales, la temperatura y otras medidas que se utilizan para ajustar y calibrar los niveles de detección viral.

El personal de laboratorio de aguas residuales (ingenieros, científicos y técnicos de aguas residuales) comprende las características de rendimiento del ensayo y la relación entre los sistemas de aguas residuales, la recolección de muestras y el nivel de virus informado. Realizan pruebas RT-qPCR para SARS-CoV-2 y otros virus que se excretan regularmente. Los laboratorios de aguas residuales informan los niveles virales a la salud pública después de la estandarización, la calibración y múltiples evaluaciones de control de calidad.

Al comienzo de la pandemia, los ingenieros y los científicos de aguas residuales generalmente lideraron el desarrollo de programas piloto. La participación del personal de salud pública es esencial, ya que la salud pública tiene la responsabilidad de traducir la vigilancia de COVID-19 en acciones de salud pública. A medida que se desarrollaron programas de análisis de aguas residuales durante la pandemia, una característica clave de los programas exitosos ha sido la colaboración estrecha y eficaz entre los socios.

El análisis de datos es un ejemplo en el que la experiencia abarca a los tres socios principales, pero también incluye enfoques de modelado avanzados de socios adicionales. El análisis de datos es un ejemplo en el que la experiencia abarca a los tres socios principales, pero también incluye enfoques de modelado avanzados de socios adicionales.

Figura 12. Tres disciplinas para el éxito de la vigilancia de las aguas residuales



Desafíos de implementación

Los métodos y prácticas en las pruebas de aguas residuales para patógenos como la poliomielitis se han desarrollado durante varias décadas. Con la rápida expansión de las pruebas de aguas residuales en la pandemia de COVID-19, han surgido algunos desafíos importantes.

Se han identificado tres cuestiones: la necesidad de mejores prácticas en la medición y presentación de informes para tener en cuenta las variaciones esperadas en la señal viral, la necesidad de colaboración y coordinación multidisciplinarias y la necesidad de una infraestructura de programa sostenible (figura 13).

Estos desafíos, que se describen con más detalle a continuación, requieren atención a nivel local, regional, nacional e internacional.



crédito de la fotografía: AySA

Figura 13. Desafíos de implementación



Es necesario desarrollar las mejores prácticas de medición y generación de informes.

Mejora necesaria: Es necesario mejorar las garantías de calidad entre los diversos métodos analíticos para medir el SARS-CoV-2 en las aguas residuales.

Desafío: Muchos factores influyen en la cantidad de material viral medible en las aguas residuales, lo que da como resultado una amplia variación diaria en la señal dentro y entre sitios.



Interpretar los resultados requiere colaboración y coordinación.

Mejora necesaria: La salud pública, los laboratorios de pruebas y los servicios públicos de aguas residuales deben trabajar juntos para garantizar que las pruebas de aguas residuales proporcionen inteligencia procesable.

Desafío: Como cualquier esfuerzo interinstitucional, un programa de análisis de aguas residuales es una cadena en la que la fuerza proviene de cada eslabón.



Los programas de análisis de aguas residuales necesitan una infraestructura sostenible.

Mejora necesaria: Los programas locales necesitan apoyo para la transición de programas piloto a sistemas de vigilancia expandidos, organizados y sostenibles.

Desafío: En el rápido crecimiento de las pruebas de aguas residuales durante esta pandemia, la mayoría de los programas nuevos han sido proyectos piloto de laboratorios académicos.



Las mejores prácticas de medición y generación de informes necesitan desarrollo

La variación de la medición es típica de los sistemas de vigilancia ambiental, como las pruebas de aguas residuales, y se están desarrollando rápidamente métodos para mejorar la medición de COVID-19. Muchos factores influyen en la cantidad de material viral en las aguas residuales y, por lo tanto, en la cantidad de ARN viral que se puede medir en cualquier sitio de prueba. A menudo se observa una amplia variación de la señal día a día dentro y entre sitios.

Los factores que afectan los resultados de las pruebas se agrupan en tres categorías (figura 14, figura 15):

- **Variaciones entre personas.** El nivel de ARN viral excretado en las heces aumenta rápidamente durante las primeras etapas de la enfermedad, luego se estabiliza antes de disminuir a medida que la enfermedad sigue su curso. Las pruebas de aguas residuales capturan el ARN excretado durante todas estas fases, y el ARN de las heces de una sola persona ingresará al sistema de alcantarillado durante varios días o semanas. El nivel general de ARN excretado o que ingresa al sistema de aguas residuales varía según la edad de las personas, los patrones de excreción fecal y otras características individuales.
- **Variaciones en la infraestructura de aguas residuales y el medio ambiente.** En los sistemas de aguas residuales, existen diferencias en el tiempo de tránsito y la cantidad de ARN que permanece intacto entre los puntos donde las heces de un individuo ingresan al sistema y donde se recolecta la muestra. Estas diferencias surgen de la variación en el tamaño y el diseño de las cuencas cloacales, la infiltración de aguas subterráneas (que se filtran en las tuberías del alcantarillado), las lluvias que drenan en las alcantarillas combinadas, el uso de tanques de retención y estaciones de bombeo, la fragilidad del ARN viral y factores como la temperatura o sustancias que afecten la integridad del ARN viral o inhiban la identificación viral.

- **Variaciones en la recolección de muestras y método de medición de la carga viral del SARS-CoV-2.** Las muestras de aguas residuales se pueden recolectar de los pozos de servicios públicos para el flujo libre de aguas residuales en las calles, afluentes (donde las aguas residuales ingresan a una cuenca de recolección o depósito) o lodos primarios en plantas de tratamiento de aguas residuales, entre otros entornos. Hay disponible un número cada vez mayor de métodos de muestreo, incluida una muestra “al azar” de aguas residuales, una muestra pasiva que absorbe partículas virales en una membrana que se mantiene en aguas residuales que fluyen libremente y muestreadores automáticos que capturan pequeñas cantidades de aguas residuales en intervalos de tiempo específicos. El SARS-CoV-2 se adhiere a las partículas de heces y se pueden encontrar niveles más altos de recuperación de virus cuando se analizan los lodos residuales en comparación con el efluente líquido.

Cada método de muestreo tiene sus propias ventajas y limitaciones. También existen diferentes enfoques para transportar, almacenar y concentrar una muestra antes de la extracción y la medición de ARN. En todo el mundo, la medición del SARS-CoV-2 se realiza principalmente mediante RT-qPCR o RT-d (d) PCR con cebadores similares, aunque con una variación más amplia en los enfoques de calibración, garantía de calidad y estandarización.

Figura 14. Factores que afectan la variación diaria en la medición



Personas

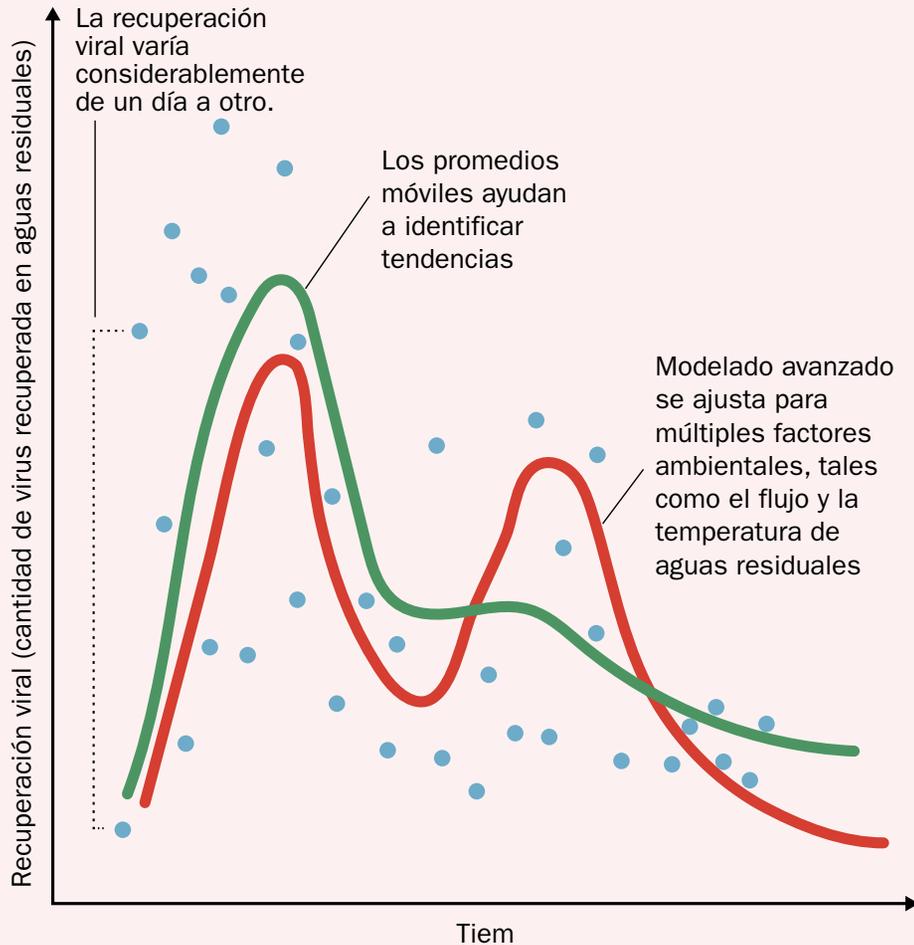


Infraestructura de aguas residuales y medio ambiente



Toma y medición de muestras

Figura 15. Influencias clave para la medición de aguas residuales



Las mejores prácticas para la medición y la presentación de informes no están firmemente establecidas, aunque hay un progreso rápido. Existen varios enfoques para mejorar la variación en la medición de aguas residuales, que incluyen:

- **Identificar el método o la frecuencia de muestreo óptimos.** La variación en la medición viral puede reducirse tomando muestras de forma continua o realizando pruebas con frecuencia. La medición se puede realizar tanto en residuos sólidos como líquidos. Los nuevos sitios pueden comenzar realizando pruebas con frecuencia y utilizando diferentes enfoques de muestreo. Los análisis de datos iniciales pueden identificar la frecuencia de prueba óptima y el enfoque de muestreo más confiable.
- **Ajuste de la recuperación viral** (estandarización o normalización de la medición). La medición del virus SARS-CoV-2 se puede ajustar para compuestos estándar o caudal de aguas residuales. Los compuestos que se utilizan para ajustar las mediciones del SARS-CoV-2 incluyen virus como el virus del moteado suave de la pimienta que se encuentra en todo el mundo y es eliminado por personas con y sin COVID-19.
- **Suavizado y modelado.** Los resultados de las aguas residuales se pueden suavizar informando promedios móviles, en un enfoque similar al informe de promedios móviles de 7 días para pruebas clínicas. El modelado más complejo utiliza el mismo enfoque que el ajuste de recuperación viral, pero puede incluir múltiples medidas de ajuste, períodos de retraso e interacciones y otras medidas de variabilidad descritas en la sección anterior. El aprendizaje automático y estadístico avanzado (inteligencia artificial) se utiliza cuando se modelan muchos parámetros.
- **Control y aseguramiento de la calidad.** Hay muchos pasos en la cuantificación de virus en las aguas residuales, incluido el muestreo, el transporte, el almacenamiento, la medición y la generación de informes. Cada paso tiene el potencial de generar errores de medición. Se han propuesto estándares de control y garantía de calidad y se utilizan en algunas jurisdicciones (Ministerio de Medio Ambiente, Conservación y Parques de Ontario 2021).

Un enfoque de ciencia abierta para la vigilancia de las aguas residuales busca avanzar rápidamente en las mejores prácticas de medición y presentación de informes a través de un conocimiento transparente y accesible (Academias Nacionales de Ciencias, Ingeniería y Medicina 2018). Compartir datos de vigilancia dentro y entre programas y países proporciona un recurso clave para comprender las fuentes clave de la variabilidad de la medición. Existen varios modelos de datos y repositorios para facilitar el almacenamiento de datos estándar y el acceso a datos abiertos siguiendo los principios de intercambio de datos FAIR (por ejemplo, consulte el [Modelo de datos abiertos de vigilancia ambiental de salud pública \[PHES-ODM\]](#); el [Proyecto Global de Patógenos del Agua](#); y el sistema de base de datos Norman, [SARS-CoV-2 en aguas residuales \[SC2S\]](#)).



La interpretación de los resultados requiere colaboración y coordinación

La interpretación de los resultados de las pruebas de aguas residuales es un desafío porque la señal (el nivel de ARN viral detectable) se ve afectada por muchos factores, como se describió anteriormente. El personal de salud pública a menudo no está familiarizado con las pruebas de aguas residuales como una herramienta de vigilancia de COVID-19 y tiene la carga de muchas otras prioridades y tareas de vigilancia durante esta pandemia. Como resultado, puede resultarles difícil encontrar tiempo para coordinar sus actividades con los científicos de aguas residuales. En muchas jurisdicciones, el personal de salud pública, ciencias ambientales y servicios de aguas residuales ha tenido oportunidades limitadas para colaborar antes de esta pandemia. Además, sus diferentes enfoques disciplinarios, el hecho de que no «hablan el mismo idioma», pueden aumentar los desafíos de la colaboración. Estos socios clave deben comprender sus objetivos comunes y contar con el apoyo de una clara coordinación de todas las partes móviles involucradas en las pruebas de aguas residuales, de modo que el programa dé como resultado inteligencia de salud pública oportuna y procesable.



Los programas de prueba requieren una infraestructura sostenible

Antes de la pandemia de COVID-19, pocas jurisdicciones en todo el mundo habían establecido programas de análisis de aguas residuales para enfermedades virales específicas. Los programas desarrollados durante esta pandemia han sido típicamente proyectos piloto de laboratorios académicos. Un número limitado de países y regiones del mundo han iniciado programas organizados:

- La Comisión Europea ha instituido pruebas de aguas residuales para el SARS-CoV-2 como parte de su programa de vigilancia de los Estados miembros bajo el programa de incubadora de la Autoridad de Respuesta y Preparación para Emergencias Sanitarias (HERA, por su sigla en inglés) para la vigilancia de variantes. En toda la Unión Europea, se planearon 600 sitios de prueba de aguas residuales para fines de julio de 2021, con 6.000 sitios planeados para un sistema completamente implementado (Gawlik y Medema 2021; Comisión Europea 2021).
- Estados Unidos ha incorporado las pruebas de SARS-CoV-2 en el Sistema Nacional de Vigilancia de Aguas Residuales (CDC 2021). Además, Estados Unidos anunció recientemente financiación nacional para la evaluación de aguas residuales de variantes de interés en 320 sitios que cubren a 100 millones de personas (Tecnología gubernamental 2021).
- En Australia y Nueva Zelanda, el Proyecto de Colaboración en la Vigilancia de Aguas Residuales del SARS-CoV-2 (ColoSSoS) está integrando los datos de las pruebas de aguas residuales con los datos de vigilancia clínica (Water Research Australia 2020).
- Canadá tiene más de 250 sitios de prueba que cubren todas las provincias y dos territorios (Manuel et al. 2021).

Para las jurisdicciones sin este tipo de apoyo nacional o internacional, existe la necesidad de desarrollar una hoja de ruta clara para escalar o sostener proyectos piloto.

Ejemplos de uso en América Latina y el Caribe

Ecuador: Creación de capacidad local para pruebas de aguas residuales para el control de COVID-19

Antecedentes y objetivo

En marzo de 2020, Ecuador fue uno de los países del mundo más afectados por el COVID-19, y la ciudad de Guayaquil, en la provincia de Guayas, fue el epicentro del brote. Los recuentos de casos en Guayas superaron los 4.300 por semana en una población de 3 millones. Si bien la pandemia disminuyó localmente, se extendió por todo el país y el número de muertos por COVID-19 en Ecuador aumentó (32.000 confirmados hasta agosto de 2021).

Desde el principio, los retrasos en la notificación de casos fueron evidentes en Ecuador, como en muchos otros países, lo que dificultó al gobierno evaluar el verdadero alcance de la pandemia en tiempo real y obstaculizó los esfuerzos para adelantarse al virus. A fines de junio de 2020, el Banco Mundial y Biobot, una firma de análisis global especializada en epidemiología de aguas residuales, se asociaron para ayudar a abordar este problema. La iniciativa tenía dos objetivos: desarrollar la capacidad local en Guayaquil para realizar pruebas de aguas residuales para el SARS-CoV-2 y desarrollar orientación técnica sobre cómo difundir esta capacidad en países de ingresos medianos y bajos.

Socios locales y roles del proyecto

Para implementar con éxito las actividades de creación de capacidad, el Banco Mundial y Biobot trabajaron con cuatro partes interesadas locales principales:

- **Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guayaquil (EMAPAG)**, una autoridad municipal de agua en Guayaquil que supervisa las actividades de agua y saneamiento. En este proyecto, EMAPAG fue responsable de brindar apoyo financiero para el análisis de aguas residuales y coordinar las actividades.



crédito de la fotografía: Anthony Surace

Vista de la ciudad de Guayaquil, Ecuador

- **Interagua**, una concesionaria privada que opera los sistemas de agua potable, alcantarillado y drenaje pluvial de Guayaquil con un contrato de 30 años con EMAPAG. Interagua fue responsable de seleccionar los lugares de muestreo, proporcionar información sobre las áreas de captación y recolectar las muestras.
- **Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)**, una universidad de investigación local que también participa en contratos de servicios. La ESPOL se incorporó al proyecto para participar en la fase de análisis de laboratorio de las actividades.
- **Comité de Operaciones de Emergencia (COE) Provincial**, el comité de operaciones de emergencia y la principal entidad responsable de la respuesta local al COVID-19 en Ecuador. Más recientemente, esta función, incluida la función de la autoridad de salud pública para la respuesta local al COVID-19, se ha trasladado al COE Cantonal.

Actividades

Las principales actividades se centraron en la creación de capacidad para el análisis de muestras. La ESPOL y el equipo de Biobot se reunieron semanalmente en línea para discutir métodos. Para identificar métodos de laboratorio óptimos, ESPOL llevó a cabo una serie de experimentos, revisando el diseño y los resultados junto con Biobot. ESPOL también desarrolló métodos de cuantificación de virus para títulos virales con la orientación de Biobot. Al final del proyecto, se realizó una prueba de verificación de métodos para validar la sensibilidad y precisión de los métodos de laboratorio.

Resultados y lecciones aprendidas

- **Creación de capacidad.** Como resultado del proyecto, ESPOL desarrolló la capacidad para detectar y cuantificar de manera confiable el SARS-CoV-2 en las aguas residuales.
- **Uso de datos.** En septiembre de 2020, los socios clave del proyecto se reunieron para presentar los resultados de la iniciativa de pruebas de aguas residuales de Guayaquil. Tanto EMAPAG como el COE

Cantonal mostraron interés en utilizar datos basados en aguas residuales, especialmente para respaldar las estimaciones de casos de COVID-19. Al final del proyecto, ESPOL celebró un contrato de un año con EMAPAG para analizar 520 muestras en diferentes áreas de Guayaquil. Este contrato es un testimonio de que Ecuador ha construido una infraestructura de prueba de aguas residuales con suficiente capacidad de laboratorio y liderazgo local.

- **Desafíos.** Dos desafíos principales fueron la identificación de un laboratorio para el preprocesamiento de muestras y la coordinación entre todos los actores involucrados. El problema de la coordinación se resolvió con el nombramiento de un coordinador del programa que dirigiera el esfuerzo y garantizara un flujo de información fluido entre los socios. Desde una perspectiva técnica, aunque existen numerosos artículos publicados con los que uno puede aprender y kits analíticos disponibles comercialmente para parte del proceso de análisis de aguas residuales, es difícil seleccionar y desarrollar métodos desde cero en un laboratorio que no tiene experiencia en vigilancia de aguas residuales. La experiencia técnica (en este caso Biobot) fue importante para guiar el desarrollo de métodos de laboratorio.

Argentina: Movilización rápida para pruebas de aguas residuales para el control de COVID-19 (y más allá)

Antecedentes y objetivo

El primer caso de COVID-19 en Argentina se informó el 3 de marzo de 2020, y a fines de junio de 2020, el país de 44 millones de personas había informado más de 62.000 infecciones y 1.200 muertes por COVID-19, con la Ciudad y La provincia de Buenos Aires como zona cero de la pandemia y las zonas más afectadas de Argentina, con más del 90 por ciento de los casos y el 50 por ciento de las muertes.

Como parte de su estrategia de innovación y desarrollo tecnológico antes del inicio de la pandemia, el operador de agua y saneamiento de GBA, Agua y Saneamientos Argentinos SA (AySA), había adquirido equipos de

PCR para desarrollar capacidad en métodos moleculares aplicados en el campo de aguas residuales. Por lo tanto, AySA pudo movilizar rápidamente a su personal para iniciar la aplicación de estos métodos para el COVID-19. En julio de 2020, con el asesoramiento inicial de KWR (un instituto de investigación sobre el agua con sede en los Países Bajos) y de la entidad regional de saneamiento y depuración de aguas residuales de Murcia, España (ESAMUR), AySA estaba tomando muestras y analizando las aguas residuales en una zona que representa más del 90 por ciento de la población de Buenos Aires, y compartiendo los resultados con el Ministerio de Salud de la Nación, como aportes para la toma de decisiones.

Socios locales y roles del proyecto

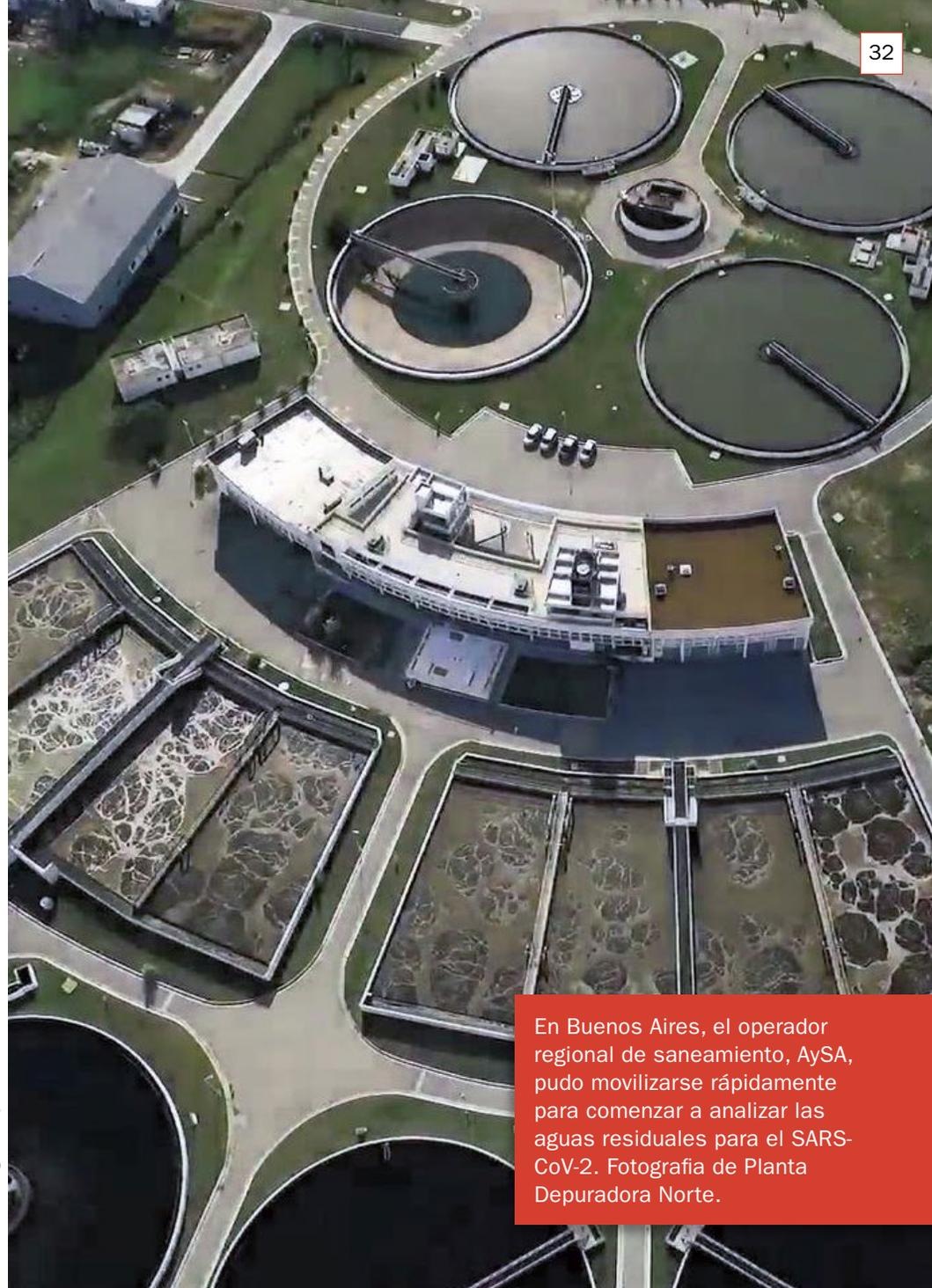
AySA es responsable de la prestación de servicios de agua potable y saneamiento a más de 14 millones de personas, y este programa de vigilancia de aguas residuales fue responsable del muestreo, almacenamiento, procesamiento y análisis de las aguas residuales con su propio equipo de PCR y personal de laboratorio. Para iniciar y mejorar con éxito su programa de vigilancia de aguas residuales, AySA también trabajó con dos partes interesadas principales:

- El Ministerio de Salud de la Nación recibe la información y el conocimiento generado por el Laboratorio Central de AySA. Esta información se utiliza para informar la toma de decisiones de salud pública a nivel nacional.
- La Administración Nacional de Laboratorios e Institutos de Salud Dr. Carlos Malbrán (ANLIS Malbrán), un instituto de investigación médica dependiente del Ministerio de Salud de la Nación con sede en Buenos Aires, inicialmente brindó apoyo a AySA en la calibración de métodos y protocolos (por ejemplo, proporcionando un sustituto control de virus para ayudar con la cuantificación desde el principio).

Actividades

AySA recolecta muestras directamente de las alcantarillas ubicadas en la salida de 43 alcantarillas en la región de Buenos Aires, así como en la entrada de seis plantas de tratamiento de aguas residuales. La estrategia

crédito de la fotografía: AySA



En Buenos Aires, el operador regional de saneamiento, AySA, pudo mobilizarse rápidamente para comenzar a analizar las aguas residuales para el SARS-CoV-2. Fotografía de Planta Depuradora Norte.

de muestreo incluye muestras semanales en cada planta de tratamiento y muestras quincenales en cada pozo. Se prefirieron las muestras tomadas en el momento en que el flujo de aguas residuales está en su punto máximo durante el día (verificadas mediante análisis de cargas de E. coli a lo largo del día) a las muestras compuestas, después de un análisis cuidadoso de ambos métodos en términos de cargas virales y posibles efectos de dilución.

Como resultado de la interacción positiva entre AySA y ANLIS Malbrán, estos socios firmaron en octubre de 2021 un acuerdo marco a más largo plazo para continuar desarrollando nuevos protocolos y oportunidades de investigación relacionadas con otros virus como el poliovirus y con el aumento de la resistencia a los antimicrobianos. Es el objetivo de esta colaboración generar de forma conjunta nuevos conocimientos e información crítica para la toma de decisiones con las autoridades sanitarias.

AySA también aspira a compartir esta experiencia con otros proveedores de servicios de agua y saneamiento en Argentina en asociación con el Consejo Federal de Entidades de Agua y Saneamiento (COFES, por su sigla en inglés). Una primera actividad de capacitación e intercambio de conocimientos se realizó con éxito con el operador municipal de Mar del Plata (OSSE Mar del Plata), que ahora ha tomado un camino similar con el apoyo del Instituto Nacional de Epidemiología Dr. Juan H. Jara, con sede en la misma ciudad.

Resultados y lecciones aprendidas

- **Expansión (y beneficios) más allá del COVID-19.** Tanto los actores del agua como de la salud han visto el potencial de la vigilancia basada en aguas residuales para ayudar a responder, recuperarse y planificar mejor no solo para el brote actual de COVID-19 en Buenos Aires y Argentina, sino también para futuras pandemias y otras amenazas para la salud pública. AySA está incorporando la vigilancia basada en aguas residuales en su sistema y estrategia general de gestión de riesgos y, a través de esta experiencia reciente, se ha dado cuenta de que el desarrollo de la capacidad de biología molecular en sus laboratorios también puede ayudar a mejorar las operaciones de tratamiento de aguas residuales.

- **Desafíos.** La iniciativa experimentó dos desafíos principales. La baja disponibilidad de insumos importados durante la pandemia afectó la capacidad de realizar las pruebas RT-qPCR. La adquisición de algunos productos químicos fue a veces tan complicada que AySA invirtió en investigación para identificar productos alternativos que les permitieran continuar con las pruebas semanalmente. Por ejemplo, el cloruro de aluminio (no disponible en Argentina) fue reemplazado por cloruro de polialuminio (PAC), utilizado por AySA en sus instalaciones de tratamiento de agua potable, y los protocolos se ajustaron en consecuencia. El segundo desafío fue encontrar un equilibrio entre invertir el tiempo necesario para establecer protocolos de muestreo y análisis (un proceso largo en sí mismo), responder a la presión de innovar en estos tiempos difíciles y seguir respondiendo a las emergencias diarias como parte de un proyecto de agua y responsabilidades primarias de la empresa de saneamiento.

4 Hacia un programa nacional de vigilancia de aguas residuales

Resumen del ciclo del programa de vigilancia.
Estimación de costos y necesidades de recursos



crédito de la fotografía: [Magdalena Wiklund](#)

1 Resumen de la situación

2 ¿Por qué realizar pruebas de aguas residuales para el SARS-CoV-2?

3 Caja de herramientas de vigilancia de aguas residuales

4 Hacia un programa nacional de vigilancia de aguas residuales

Los países de todo el mundo, incluidos América Latina y el Caribe, se encuentran en diferentes etapas en la implementación de la vigilancia de aguas residuales para COVID-19. Pocas jurisdicciones, si es que hay alguna, tienen programas bien desarrollados. La mayoría de los países de bajos ingresos no han comenzado a realizar pruebas, a pesar del acuerdo uniforme de que estos países son los que más se benefician de las pruebas de aguas residuales, dados sus bajos requisitos de recursos en comparación con otros enfoques de vigilancia.

Independientemente de la experiencia de un país con las pruebas de aguas residuales, el proceso de diseño de una estrategia de prueba a nivel nacional es cíclico, con cuatro fases clave (figura 16):

- 1) **Valorar** enfoques de vigilancia existentes y recursos disponibles
- 2) Considerar las prioridades (metas, objetivos y resultados) y **desarrollar** una estrategia preliminar
- 3) Involucrar a las partes interesadas para refinar, optimizar y **implementar** la estrategia
- 4) **Evaluar** la estrategia, adaptarla (en base a hallazgos y nuevas realidades) y renovar el ciclo.

Las estrategias variarán según la estrategia de vigilancia de COVID-19 actual de un país. Los países con pocas lagunas en la vigilancia y una infraestructura subdesarrollada para las pruebas de aguas residuales pueden beneficiarse mejor de comenzar con sitios piloto. Los programas piloto pueden, por ejemplo, ayudar a desarrollar asociaciones entre la salud pública, los laboratorios de análisis de aguas residuales y los servicios públicos de aguas residuales municipales. En otros países, puede ser imperativo implementar un programa de análisis de aguas residuales de manera generalizada si existen preocupaciones sobre las grandes brechas en la vigilancia de COVID-19 o la capacidad de sustentar pruebas clínicas de uso intensivo de recursos.

Aquí describimos las cuatro fases de implementación. En cada fase, el proceso de planificación será informado por:

- Los tipos de datos de vigilancia ya disponibles
- La capacidad del país para recolectar, analizar e interpretar pruebas de aguas residuales, con la colaboración necesaria entre socios.
- La capacidad del país para implementar estrategias con éxito.

Figura 16. Fases de una estrategia de vigilancia de aguas residuales



Fases de una estrategia de vigilancia de aguas residuales



Fase 1 — Valorar

Haga un inventario de los enfoques de vigilancia existentes y emergentes y los recursos disponibles. Identificar brechas y necesidades

Antes de comenzar o expandir una estrategia de análisis de aguas residuales, es esencial realizar un inventario honesto de las actividades y la capacidad de vigilancia de COVID-19 actuales de su país. Esta evaluación puede identificar puntos conflictivos actuales (áreas de debilidad) y puntos ciegos (lagunas de datos). Considere este inventario desde dos puntos de vista: el enfoque de vigilancia general del país para el COVID-19 y el papel de las pruebas de aguas residuales dentro de esa estrategia general. ¿Cómo se sumarían las pruebas de aguas residuales a su estrategia de vigilancia actual?

La evaluación debe constar de cinco inventarios: un inventario de los datos de vigilancia actuales, un inventario del sistema de aguas residuales, un inventario de recursos humanos y capacidad, un inventario del sistema analítico y de información, y un inventario de políticas y receptividad pública.

Inventario de vigilancia actual

¿Qué vigilancia de COVID-19 realiza actualmente su país (o comunidad)?



Reúna sus fuentes de vigilancia y desarrolle un plan de:

- Lo que sabe actualmente
- Lo que actualmente no sabe
- Sobre qué le gustaría obtener más información.

Considere cómo los puntos fuertes potenciales de las pruebas de aguas residuales podrían subsanar las deficiencias de vigilancia. Mire su sistema de datos actual con estos elementos en mente (figura 17):

- Oportunidad
- Vigilancia de toda la población
- Vigilancia de población específica
- Recursos disponibles
- Variantes de preocupación

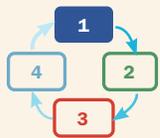


Figura 17. Preguntas para un inventario de datos de vigilancia (contenido a continuación)



Puntualidad

¿Hay retrasos en la notificación de las pruebas clínicas?
¿Las pruebas clínicas están pasando por alto nuevos brotes o picos? ¿Tiene actualmente suficiente tiempo de espera para responder a los brotes y los picos cuando se identifican?



Vigilancia de toda la población

¿Actualmente existen brechas en la cobertura de las pruebas? ¿Anticipa los desafíos continuos para mantener la capacidad de prueba y la aceptación? Como fuente complementaria de datos, ¿las pruebas de aguas residuales apoyan la acción de salud pública?



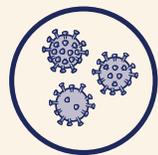
Vigilancia de población específica

¿Son difíciles de detectar los “puntos calientes” (brotes en campus, hospitales, prisiones, barrios de bajos ingresos)? ¿Son algunas poblaciones de difícil acceso? ¿Existen preocupaciones de equidad (brechas de vigilancia para poblaciones desfavorecidas)?



Recursos disponibles

¿Cuáles son los costos iniciales y continuos, incluidas las contribuciones en especie y los recursos humanos, para la vigilancia de las aguas residuales? ¿Hay suficientes recursos dado que las pruebas clínicas son un requisito continuo?



Variantes de preocupación

¿Existe la capacidad de secuenciación para identificar variantes de interés y calcular su prevalencia y diseminación?

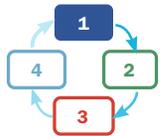
Inventario del sistema de aguas residuales



¿Cómo se recolectan y tratan las aguas residuales en sus comunidades? Considere el sistema de aguas residuales desde dos perspectivas críticas:

- Porcentaje de la población atendida por instalaciones de aguas residuales. Las pruebas de aguas residuales se pueden realizar en casi cualquier tipo de sistema de aguas residuales, desde instalaciones de tratamiento grandes y bien desarrolladas que cubren a 1 millón de personas hasta camiones de aguas residuales y lagunas o incluso zanjas de aguas residuales sin tratar. Los países tienen menos problemas de implementación cuando la mayoría de la población cuenta con instalaciones de tratamiento de aguas residuales, pero también se pueden considerar las pruebas de aguas residuales para áreas con poca cobertura de instalaciones. Las poblaciones o vecindarios que carecen de un tratamiento formal de aguas residuales también pueden enfrentar una mayor carga de COVID-19 y, como describimos en la sección 3, las pruebas de aguas residuales pueden ayudar a abordar estas desigualdades.
- Número de sitios de prueba. El costo y la infraestructura de las pruebas de aguas residuales están muy relacionados con la cantidad de sitios de prueba. Las pruebas en una sola instalación de tratamiento pueden costar lo mismo si la instalación atiende a una ciudad con 1 millón de personas o a una ciudad de 1.000 personas. Un primer paso es calcular la cantidad de sitios de prueba en el programa de su país, que puede incluir tanto la vigilancia de toda la población como la vigilancia de grupos específicos de alto riesgo, como espacios de vida conjugados o vecindarios desatendidos. Empiece a considerar la accesibilidad del sitio y los métodos de muestreo. Los sitios con acceso limitado requerirán más personas y esfuerzo para el muestreo (inventario de recursos humanos). Sin embargo, hay mucha innovación en el muestreo para muestreadores automáticos y pasivos que está reduciendo rápidamente el esfuerzo de muestreo.

Se pueden lograr economías de escala si un solo laboratorio puede servir a muchos sitios de prueba. Por ejemplo, los Países Bajos realizan todas



las pruebas de aguas residuales de un laboratorio nacional. Del mismo modo, los servicios de datos y análisis pueden servir a países enteros o incluso a varios países. Wastewater Sphere es un proyecto que integra y desarrolla enfoques de visualización para datos de aguas residuales en todo el mundo (Global Water Pathogens Project 2021).

La cantidad de pruebas realizadas se puede reducir reuniendo muestras o utilizando sitios centinela. La puesta en común es la combinación de muestras de comunidades o vecindarios que comparten un riesgo de transmisión similar y ningún caso conocido de COVID-19. Si se detecta el SARS-CoV-2, se pueden analizar las muestras originales para localizar la fuente de infección. La vigilancia centinela de las aguas residuales se centra en las poblaciones en las que es probable que aparezcan por primera vez brotes, picos o nuevas variantes antes de propagarse. La vigilancia centinela se puede utilizar en poblaciones con alto riesgo de nuevos casos o transmisión como comunidades de migrantes o viajeros, en áreas donde hay baja inmunidad (baja cobertura de vacunación), o en grupos con alto riesgo de complicaciones o eventos adversos (hospitales, comunidades, con personas mayores).

Inventario de recursos humanos

¿Quién realiza o puede realizar muestreos, pruebas, análisis y comunicación de aguas residuales?



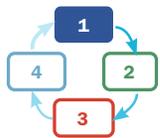
Un programa de vigilancia de aguas residuales requiere un grupo diverso de personas con diferentes áreas de experiencia en el número correcto. Hemos descrito las tres disciplinas principales involucradas (ver sección 3): personal de salud pública, ingenieros y científicos de aguas residuales y personal de servicios públicos de aguas residuales municipales. Un requisito esencial es la capacidad de estas disciplinas para trabajar juntas.

Además, se necesita una variedad de otras personas para apoyar la vigilancia de las aguas residuales, incluidas las personas que trabajan en la planificación de programas, transporte de muestras, soporte del sistema de información, análisis y modelado de datos avanzados y servicios de comunicación. El personal clave requerido para un programa

crédito de la fotografía: AySA



Una muestra de aguas residuales pasa por varias etapas de separación de sólidos, concentración y extracción viral antes que la muestra—mostrada aquí de Argentina—se encuentre lista para el análisis.



exitoso de análisis de aguas residuales puede identificarse siguiendo los siete pasos en la figura 10, desde la recolección de muestras hasta la acción de salud pública.

Inventario de sistemas de información

¿Qué sistemas de información están disponibles o son necesarios para respaldar la recopilación, el análisis, la comunicación y el intercambio de datos?



Para que las pruebas de aguas residuales proporcionen una alerta temprana de los brotes y picos de COVID-19, la difusión rápida y amplia de los resultados de las pruebas es fundamental. Es importante comprender y abordar los desafíos de la información que pueden obstaculizar la capacidad de su país para publicar, interpretar y utilizar rápidamente los datos de las pruebas.

Existen varios desafíos de información comunes con las pruebas de aguas residuales. Primero, el control de calidad y la estandarización para tener en cuenta la variabilidad de la medición son complejos. Además, los análisis y la visualización de datos para interpretar los datos pueden ser más sofisticados que para otros datos de vigilancia de COVID-19. Por último, los datos sobre aguas residuales deben integrarse y difundirse entre los diferentes departamentos de toma de decisiones. Los enfoques para ayudar en el análisis y la interpretación de datos están cada vez más disponibles, pero es importante darse cuenta de que, como enfoque de vigilancia ambiental, las pruebas de aguas residuales requieren el apoyo de sistemas de información modernos y análisis avanzados.

Inventario de receptividad política y pública

¿Qué tan preparados y receptivos están el gobierno y el público a la vigilancia de las aguas residuales?



¿Los entornos políticos, gubernamentales y sociales de su país apoyan las pruebas de aguas residuales? Muchas personas no están familiarizadas con las pruebas de aguas residuales, es posible que muchas no sepan que el SARS-CoV-2 se excreta en las heces, y esta falta de

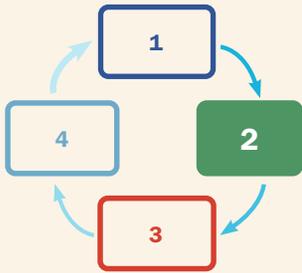
conciencia puede ser una barrera para el apoyo. Las pruebas de aguas residuales tienen pocas preocupaciones sobre la privacidad porque los resultados representan a toda una comunidad, no a individuos específicos. Sin embargo, existen preocupaciones éticas de que las pruebas de aguas residuales pueden estigmatizar a las comunidades si el propósito y los resultados de las pruebas no se comunican bien.

Anticípese a las preocupaciones potenciales creando conciencia a través de los medios públicos y establezca un plan de comunicación sólido. Ejecute un piloto de pruebas de aguas residuales, si es necesario, y revise cualquier problema de comunicación y ética que surja. Para ser eficaz, cualquier tipo de programa de vigilancia de la salud pública debe generar y mantener la confianza del público.

Como programa multidisciplinario y de múltiples agencias, las pruebas de aguas residuales requieren la aceptación de varios departamentos gubernamentales y organizaciones políticas que pueden no estar familiarizadas con el enfoque. Ante un nuevo programa propuesto, los socios potenciales querrán evaluar críticamente el papel de la vigilancia de las aguas residuales. Sea sensible a la realidad de que las agencias realizarán tales revisiones y considerarán sus prioridades en el marco de recursos competitivos y limitados, con un curso pandémico incierto. El enfoque para evaluar una nueva tecnología o un enfoque de vigilancia variará según la agencia y la disciplina. Algunas agencias querrán una “prueba definitiva” de la efectividad de la vigilancia de las aguas residuales, y lo que constituye evidencia para un grupo diferirá de otro.

Para realizar una evaluación multidisciplinaria de las pruebas de aguas residuales, es importante desarrollar primero un consenso sobre cómo se evaluará el valor potencial del programa y cómo se aplicarán los resultados. Durante la pandemia, ha habido un cambio de “ciencia en acción” a “ciencia por acción” (Jasanoff 2015). En una evaluación de «ciencia para la acción», las pruebas de aguas residuales deben cumplir dos criterios: ¿Resiste el escrutinio científico? ¿Y proporciona una base para una acción oportuna? Otro enfoque similar utiliza cuatro criterios para evaluar el uso de la ciencia para la toma de decisiones: relevancia, credibilidad, legitimidad y posicionamiento para el uso (Belcher et al. 2016, 2021).

Fases de una estrategia de vigilancia de aguas residuales



Desarrollar

Fase 2



Establecer metas y objetivos



Reúna a su equipo



Considere estas preguntas clave de implementación



Estimar costos y recursos necesarios



Asegurar que los resultados informen la acción de salud pública

Fase 2 — Desarrollar

Considere las prioridades y desarrolle un programa preliminar

La evaluación en la fase 1 debería ayudarlo a articular prioridades claras para un programa de vigilancia de aguas residuales. Por ejemplo, ¿desea datos para una población amplia o para grupos o ubicaciones específicos?

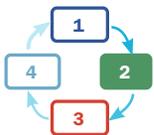
Establecer metas y objetivos

De acuerdo con las prioridades nacionales y locales, cree sus objetivos generales para las pruebas de aguas residuales. Los objetivos deben centrarse en reducir la carga de enfermedad en la comunidad o para grupos o áreas específicas. Luego, desarrolle objetivos a corto, mediano y largo plazo para el programa, describiendo más específicamente lo que el programa pretende lograr.

Al establecer metas y objetivos, sea realista sobre qué esperar de las pruebas de aguas residuales. Recuérdelo:

- Las pruebas de aguas residuales complementan, en lugar de reemplazar, otros enfoques de vigilancia.
- Las asociaciones y la infraestructura pueden tardar en desarrollarse si aún no existen.
- Los resultados de las pruebas pueden ser difíciles de interpretar (consulte Desafíos de implementación en la sección 3).
- Es posible que deba equilibrar los objetivos a corto y largo plazo. Las pruebas de aguas residuales pueden ofrecer soluciones a largo plazo para monitorear una variedad de riesgos para la salud más allá de COVID-19, y la creación de capacidad para las pruebas de aguas residuales puede tener otros beneficios a largo plazo.

En este punto, también considere su estrategia de evaluación (vea la Fase 4, a continuación). ¿Cómo sabrá que su programa de análisis de aguas residuales es exitoso? Elabore al menos un plan de evaluación preliminar antes de comenzar la prueba. Esto ayudará a identificar los desafíos de implementación temprano, aumentará la probabilidad de éxito del programa y mejorará la calidad de los datos de su evaluación.



Reúna a su equipo

Reúna a su equipo de aguas residuales, laboratorio y personal de salud pública (consulte Personas y asociaciones necesarias en la sección 3) e identifique una organización líder. Los ingenieros de aguas residuales generalmente han liderado estas iniciativas, pero los programas exitosos están estrechamente integrados con la salud pública para garantizar que los datos se utilicen para informar las medidas de salud pública para controlar la propagación de COVID-19.



- **Organizar las estructuras de apoyo del programa.** Para ayudar a que el programa funcione sin problemas, obtenga un acuerdo y claridad sobre los roles y responsabilidades en todo el equipo.
- **Estructuras de rendición de cuentas.** ¿Quién es responsable de la toma de decisiones a medida que avanza el programa?
- **Estructuras de dirección o asesoramiento.** ¿Qué experiencia o supervisión adicional necesitará el programa?
- **Estructuras de implementación.** Cualquier programa que involucre a varias organizaciones debe tener claro dónde se encuentran las responsabilidades de cada parte del plan del programa. ¿Cómo obtendrá su programa el apoyo de cada una de las organizaciones involucradas?
- **Estructuras de denuncia y actuación en salud pública.** ¿Cómo se comunicarán los resultados de las pruebas y a quién? ¿Cómo se tomarán las decisiones sobre la respuesta de salud pública? ¿Existen las estructuras necesarias para apoyar la respuesta de salud pública?

Considere estas preguntas clave de implementación



¿De qué poblaciones tomará muestras y con qué frecuencia?

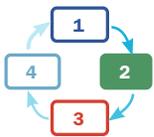
Para cumplir con las metas y objetivos del programa, ¿las pruebas se realizarán en toda la población o se centrarán en poblaciones prioritarias, o una combinación de ambas? Puede ser importante adoptar una estrategia flexible que pueda reaccionar y adaptarse a las condiciones cambiantes.

La frecuencia óptima para las pruebas de aguas residuales no está bien establecida. Normalmente, las pruebas se realizan de dos a tres por semana. Las pruebas más frecuentes (y/o más sitios de prueba) permiten una detección más rápida de patógenos. Las pruebas a menudo se realizan con frecuencia al comenzar un nuevo sitio de pruebas para formar una línea de base para la interpretación. Las pruebas frecuentes también pueden mejorar la capacidad de su equipo para interpretar las variaciones diarias en la señal de las aguas residuales, particularmente durante los períodos de transmisión continua de COVID-19.

¿Cómo se abordarán las cuestiones transversales?

Con los socios implementadores, revise el pensamiento preliminar del equipo sobre cómo el alcance del programa de prueba de aguas residuales podría verse afectado por cada una de las siguientes áreas:

- **Infraestructura, capacidad y cadena de suministro del laboratorio.** Se necesita tiempo para desarrollar la capacidad de laboratorio nacional y local y validar los protocolos de prueba, especialmente cuando la cadena de suministro y la logística son limitadas. La implementación segura de una estrategia de prueba requiere cadenas de suministro seguras para la compra, adquisición y distribución de los materiales necesarios, incluidos los reactivos y el equipo de protección personal. Considere lo que se necesita para respaldar cadenas de suministro seguras. Considere colaborar con países o aprovechar el sector privado. Dentro de la capacidad y los objetivos de la estrategia, ¿cuál es el volumen realista de pruebas que se pueden analizar diaria y semanalmente? ¿Existe un proceso simplificado para la recepción de muestras y el informe de resultados?
- **Recursos humanos.** Considere los recursos humanos en cada uno de los tres socios principales: salud pública, servicios públicos municipales y laboratorios de análisis de aguas residuales. ¿Hay suficiente personal clínico disponible para respaldar las pruebas específicas en respuesta a un aumento en las infecciones identificadas por la vigilancia de las aguas residuales? El personal adicional requerido incluye personal administrativo y de oficina, administradores y analistas de datos, administradores de sistemas y transporte, entre otros.



- **Redes de transporte.** La entrega de muestras de alta calidad y la entrega rápida de los resultados de las pruebas dependen, en parte, del movimiento eficiente de las muestras de aguas residuales a los laboratorios para su análisis. Considere lo que se necesita para respaldar la entrega eficiente de muestras en un almacenamiento adecuado.
- **Infraestructura de vigilancia y comunicación de datos.** Para asegurar que las actividades de vigilancia sean útiles y viables, considere si todos los apoyos clave están en su lugar: recopilación de datos confiable e integrada; sistema de información de laboratorio; base de datos o repositorio de datos, análisis y visualización; y difusión de resultados. ¿Pueden los datos generados por las pruebas conducir a una acción oportuna?

Estimar costos y recursos necesarios

Los costos y recursos requeridos para las pruebas de aguas residuales se estiman comúnmente utilizando cálculos simples de hoja de cálculo basados en el número de sitios, la frecuencia de las pruebas y las estimaciones de los costos de equipos y reactivos. Los costos se estiman por persona o por sitio durante un período de tiempo, como un año. El recuadro 2 muestra un ejemplo típico de cómo calcular los costos por persona. El resultado de la estimación es de US\$0,50 por persona por año para análisis de aguas residuales para una población de 100.000 habitantes, sin incluir el costo de muestreo, transporte e interpretación. Se utiliza un cálculo similar para estimar el costo por sitio de prueba de aguas residuales por año. Utilizando estimaciones de costos de una encuesta de país, la Unión Europea estimó que el costo anual de cada sitio en sus estados miembros es de US\$30.000 (25.000 euros) (Gawlik et al. 2021), lo que se traduce en un rango de costos de US\$3 por persona para un sitio que cubre de 10.000 personas a US\$0,3 para una población de 100.000.

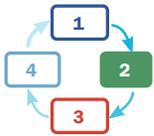


Además de los costos operativos, los costos de puesta en marcha incluyen el equipo de muestreo, el equipo de pruebas de laboratorio y la tecnología de la información para administrar los datos de los resultados de las pruebas e integrar los datos en los sistemas de vigilancia e informes

de salud pública. La Unión Europea estimó que cada país miembro gastó entre US\$1 millón y \$3,5 millones para iniciar un programa de vigilancia de aguas residuales (Gawlik et al. 2021). En Alemania, el desarrollo de su programa CORONA Warn costó US\$26,5 millones (\$0,3 por persona) con un costo mensual estimado de US\$3,5 millones a \$4,9 millones (\$0,04 a \$0,06 por persona/año). En Ontario, Canadá, el costo inicial y operativo fue de US\$0,7 estadounidenses por persona durante el primer año de su nuevo programa de análisis de aguas residuales SARS-CoV-2 (US\$10 millones para una población de 14,7 millones) (Manuel et al. 2021).

Los costos estimados (operativos y de puesta en marcha) varían considerablemente según las entradas de cálculo o los costos reales realizados. Los países y los programas internacionales han comenzado a colaborar en las mejores prácticas para la presentación de informes y la tecnología de la información estándar, con la expectativa de que estas tecnologías se puedan compartir con los países de bajos ingresos. Los costos más bajos de recursos humanos en los países de bajos ingresos pueden resultar en costos más bajos del programa.

La Organización Mundial de la Salud recomienda que los costos de la vigilancia de las aguas residuales se comparen con los costos sociales que se evitan mediante la acción de salud pública oportuna que resulta de los sistemas de vigilancia bien implementados (OMS 2020a). Además, la comparación de los costos de las pruebas de aguas residuales y las pruebas clínicas ha informado a los países sobre el retorno relativo de la inversión para establecer un programa de vigilancia de aguas residuales. Según el costo promedio y el nivel de las pruebas clínicas, los países de América Latina y el Caribe gastaron aproximadamente US\$14,5 por persona en pruebas clínicas en 2020/21 (Recuadro 3), más de 10 veces el costo estimado de establecer una vigilancia de aguas residuales en la primera año.



Recuadro 2. Un ejemplo de estimación del costo de las pruebas de aguas residuales para una población

Costo por prueba de aguas residuales COVID-19 (costo por prueba):
US\$300

Frecuencia de las pruebas de aguas residuales (pruebas por año):
100 (aproximadamente 2 veces por semana)

Tamaño de la cuenca (personas por sitio de prueba):
100.000 por sitio

$$\text{Costo de prueba de aguas residuales por persona} = \frac{(\text{costo por prueba}) \times (\text{pruebas por año})}{\text{personas por sitio de prueba}}$$

$$= \frac{\$300 \text{ por prueba} \times 100 \text{ pruebas por año}}{100.000 \text{ personas por sitio de prueba}} = \$0,50 \text{ por persona por año}$$

Recuadro 3. Un ejemplo de estimación del costo de las pruebas clínicas para una población

En América Latina y el Caribe, septiembre de 2020 a septiembre de 2021, costos por país

Costo por prueba:
aproximadamente US\$40, rango de \$20 a \$100

Número de pruebas:
aproximadamente de 29 a 94 pruebas por cada 100 personas

El costo estimado más bajo de las pruebas clínicas en América Latina y el Caribe

Costo por prueba clínica:
US\$20

Número de pruebas por año:
29 pruebas por cada 100 personas

$$\text{Costo de las pruebas clínicas por persona} = (\text{costo / prueba}) \times (\text{pruebas / personas / año})$$

$$= \$20 / \text{prueba} \times 29 \text{ pruebas} / 100 \text{ personas} = \$5,80 \text{ por persona por año}$$



Asegurar que los resultados informen la acción de salud pública



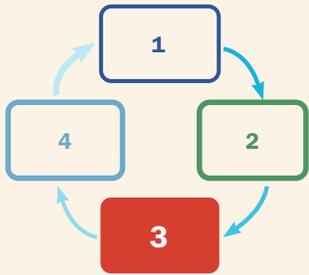
El propósito de las pruebas de aguas residuales como parte de la vigilancia de COVID-19 es informar la respuesta de salud pública de un país. Es importante prepararse para cómo se analizarán, notificarán, interpretarán y utilizarán los datos. Varios factores clave pueden afectar la usabilidad de los datos.

- Enfoque multidisciplinario.** El análisis y la interpretación requieren un enfoque multidisciplinario con personal de salud pública, servicios públicos municipales y personal de ingeniería de aguas residuales que trabajen en estrecha colaboración para comprender e informar los datos. Muchas jurisdicciones en todo el mundo informan sobre la importancia de las buenas asociaciones entre disciplinas, la falta de una asociación bien establecida antes de la pandemia y el desafío de desarrollar esas asociaciones durante la pandemia cuando la salud pública puede verse abrumada por demandas que exceden su capacidad (Manuel et al. 2021; OMS 2020a).
- Los ensayos de alta calidad son fundamentales.** Los resultados del ARN del SARS-CoV-2 se ven afectados por muchas variables ambientales y del sistema de aguas residuales, como se describió anteriormente (consulte Desafíos de implementación en la sección 3). Las mejores prácticas aún están surgiendo. Incorpore el control y la garantía de calidad a su programa de vigilancia participando en estudios de validación. La señal de prueba viral puede variar entre sitios y se esperan variaciones en la calidad e interpretaciones, particularmente durante las pruebas en sitios nuevos. Sea transparente con respecto al desempeño de las pruebas de aguas residuales para generar confianza y establecer. El objetivo es mejorar la calidad y la interpretación de los ensayos a lo largo del tiempo.
- Establezca un plan de respuesta antes de que comience la prueba.** Como hemos señalado, es fundamental establecer cómo se utilizarán los informes y quién lo hará. ¿Existen ya procesos para comunicar los riesgos para la salud ambiental, como las advertencias sobre el agua potable? Los procesos existentes pueden proporcionar una hoja de ruta para comunicar los resultados de la vigilancia de aguas residuales para COVID-19.

crédito de la fotografía: IMF Photo/Raphael Alves



Fases de una estrategia de vigilancia de aguas residuales



Implementar

Fase 3

Involucre a las partes interesadas y perfeccione su estrategia para optimizar la implementación



Pilotear y escalar, o lanzar un programa generalizado coordinado



Fortalecer, Adaptar, Sostener



Fase 3 — Implementar

Ponga en acción la iniciativa de vigilancia de aguas residuales. Involucrar a las partes interesadas para optimizar la estrategia



Involucre a las partes interesadas y perfeccione su estrategia para optimizar la implementación

Cuando se ha desarrollado una estrategia general, es decir, se ha identificado la población que se va a probar, la siguiente fase clave es ampliar el alcance de las partes interesadas involucradas mientras se prepara para ajustar e implementar la estrategia.

La participación de los socios de implementación debe comenzar una vez que se haya definido el enfoque general. Esto ayudará a cultivar la propiedad y la aceptación de la estrategia y mejorará las posibilidades de éxito en cada fase del ciclo.

Poner su estrategia en acción implica los siguientes pasos (figura 18):

- 1) El equipo de prueba y los suministros
- 2) Recolección de muestras y condiciones ambientales/del sistema
- 3) Transporte, almacenamiento, concentración, aislamiento de ARN
- 4) Medición y control de calidad
- 5) Gestión y análisis de datos
- 6) Difusión de datos, interpretación y medidas de control de salud pública.

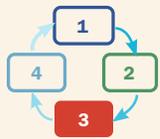


Figura 18. Poniendo su estrategia en acción



El equipo de prueba y los suministros

Asegúrese de que el personal, los procesos de transporte, los suministros de prueba y los sistemas de tecnología de la información necesarios sean adecuados y estén listos.



Recolección de muestras y condiciones ambientales/del sistema

Decida dónde y cómo se recolectarán las muestras (quién recolectará la muestra de aguas residuales y qué equipo se utilizará). Si es posible, recolecte las aguas residuales y las características ambientales (es decir, tasas de flujo de las aguas residuales, temperatura ambiente y de las aguas residuales, lluvia). También considere recopilar información sobre la población atendida por el sistema de recolección de aguas residuales (es decir, tamaño de la población y pruebas clínicas de COVID-19 para personas dentro del área de captación de aguas residuales).



Transporte, almacenamiento, concentración, aislamiento de ARN

Decida cómo se transportarán las muestras al laboratorio de pruebas y cómo se almacenarán en las instalaciones. ¿Existe una refrigeración adecuada para el almacenamiento, mientras que las muestras pasan por varios pasos de filtración y concentración?



Medición y control de calidad

Establezca métodos de control de calidad y garantía de calidad en el laboratorio de pruebas, donde se aísla el ARN y se realiza la RT-qPCR. Decida qué controles de calidad se realizarán. Decida el método de calibración y si se realizarán mediciones repetidas o estudios de validación para garantizar que los resultados sean consistentes y confiables.



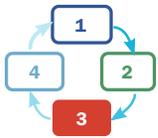
Gestión y análisis de datos

Asegúrese de que se recopilen los datos clave, incluidos los resultados del ARN, la garantía de calidad y el sistema de aguas residuales y las condiciones ambientales (consulte la Fase 2, más arriba). Realizar análisis para mejorar la interpretación de los hallazgos. El análisis incluye el ajuste y la normalización de los sistemas de aguas residuales y las condiciones ambientales. Utilice sistemas de información y gestión de laboratorio con diccionarios de datos estándar y métricas de control de calidad.



Difusión de datos, interpretación y medidas de control de salud pública

Comparta datos abiertamente con las partes interesadas locales. Compare los resultados con otra información de vigilancia de COVID-19 colaborando con epidemiólogos, personal de servicios públicos municipales y de aguas residuales y personal de laboratorio de aguas residuales. Interprete los datos y desarrolle medidas de control de salud pública según sea necesario. Comparta datos con otras partes interesadas de manera más amplia, incluida la comunidad de investigación y los científicos de salud pública de todo el mundo que analizan los resultados de las aguas residuales de varios sitios para comprender y mejorar los métodos de vigilancia y la interpretación de las aguas residuales.



Pilotear y escalar, o lanzar un programa generalizado coordinado



Durante la pandemia, la mayoría de las jurisdicciones en todo el mundo comenzaron la vigilancia de las aguas residuales del SARS-CoV-2 con proyectos piloto. Estos programas a menudo fueron dirigidos por laboratorios académicos altamente comprometidos que trabajaban con sus socios de servicios públicos municipales existentes. Una característica fundamental para el éxito fue el acercamiento temprano al personal de salud pública y la estrecha colaboración con todos los socios. Luego, los sitios piloto pasaron a programas organizados más grandes dirigidos o apoyados por las agencias gubernamentales que supervisan el tratamiento de aguas residuales a nivel regional o nacional. Estas agencias coordinaron el crecimiento progresivo de los programas incorporando nuevos sitios de recolección. Las pruebas de aguas residuales se realizaron ampliando los laboratorios académicos existentes o agregando otros laboratorios académicos o comerciales.

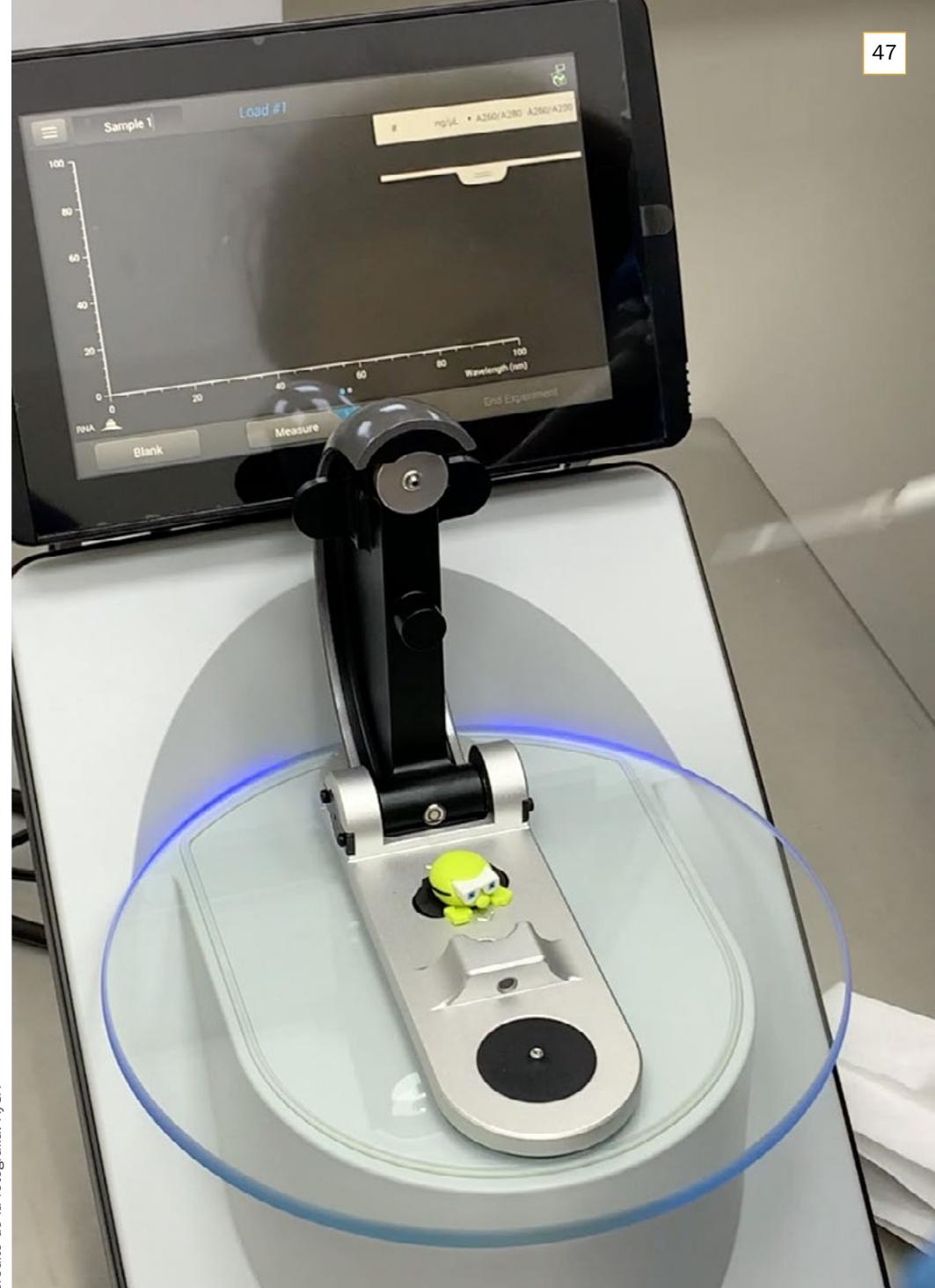
Otras jurisdicciones iniciaron con éxito programas de vigilancia de aguas residuales utilizando pruebas más grandes en varios sitios. Estos programas ya tenían redes de tratamiento de aguas residuales bien organizadas u operaban instalaciones de tratamiento en varios sitios. Necesitaban una mayor capacidad de prueba al inicio, lo que requería laboratorios comerciales o académicos con suficiente capacidad de prueba. Como ocurre con todos los programas exitosos, la estrecha colaboración con la salud pública fue fundamental.

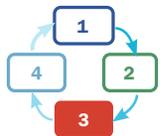
Fortalecer, Adaptar, Sostener



Cada sitio de muestreo de aguas residuales tiene características locales únicas. Cuando un programa de pruebas incorpora un nuevo sitio de muestreo, hay un período para comprender cuál es la mejor manera de recolectar muestras, cómo el sistema local de aguas residuales afecta la recuperación viral y cómo se comparan los informes de aguas residuales con los informes clínicos. Además, el programa a menudo implicará nuevas colaboraciones de personas que trabajan juntas de diferentes organizaciones y disciplinas. En conjunto, esto equivale a un período de fortalecimiento, en el que su programa debería ver ganancias de eficiencia rápidas y una mejor comprensión de los resultados de las pruebas de aguas residuales.

crédito de la fotografía: AySA





Financiación

Considere cómo financiará las pruebas de aguas residuales. El éxito de una estrategia de prueba puede aprovechar los recursos individuales e institucionales, desde las agencias municipales que ayudarán a obtener muestras hasta los funcionarios de salud pública que implementarán la política basada en los hallazgos de la vigilancia. Sin embargo, una mejor vigilancia de la salud pública requiere una financiación estable, sostenida y a largo plazo, generalmente dirigida desde los niveles nacional y regional.

Las pruebas de aguas residuales durante la pandemia comenzaron en todo el mundo como proyectos piloto o de investigación con programas en transición a programas a más largo plazo. En algunos entornos, los proyectos piloto se han detenido, a pesar del éxito, porque no han podido obtener financiación a largo plazo. Existen diferentes modelos de financiación sostenida con financiación y recursos en especie compartidos entre municipios nacionales, regionales y locales. Las universidades, empresas e instituciones locales también financian las pruebas de aguas residuales para su entorno, después de realizar análisis de costos que muestran que las pruebas de aguas residuales pueden proporcionar un retorno favorable de su inversión. Sin embargo, los programas más grandes generalmente dependen de la financiación nacional y regional para la mayoría de los costos, incluidas las pruebas de laboratorio y los sistemas de información. Los municipios locales pueden financiar las pruebas en algunos entornos y los municipios a menudo comparten los costos de muestreo e incorporación de los resultados de las pruebas en la política de salud pública local.

Adaptarse a la innovación

La práctica de las pruebas de aguas residuales se ha desarrollado rápidamente durante la pandemia y es probable que la innovación continúe a un ritmo rápido. Se puede esperar que los nuevos programas modifiquen sus enfoques en los próximos años.

Un ejemplo es la dependencia inicial de los inyectores automáticos costosos que usaban bombas eclécticas para extraer las muestras de aguas residuales (Schang et al. 2021). A principios de 2021, investigadores en Australia comenzaron a probar «torpedos» de bajo costo con membranas

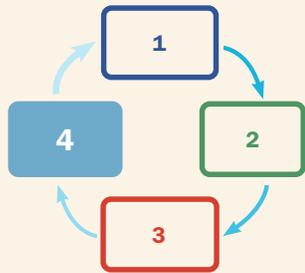
absorbibles que se colocaron en el flujo de aguas residuales para realizar muestras de forma pasiva de las aguas residuales (Kreier 2021). En cinco meses, cuando los sitios de prueba adoptaron la nueva práctica, se exportaron más de 2.500 torpedos en todo el mundo, y las instrucciones de código abierto para fabricar los torpedos utilizando impresoras 3-D permitieron que otros sitios también los adoptaran rápidamente. El exitoso programa de Canadá en los remotos Territorios del Noroeste ha comenzado a utilizar y evaluar analizadores de PCR GeneXpert, lo que les permite realizar mediciones de SARS-CoV-2 en aguas residuales de forma local, rápida y con pocas consideraciones técnicas (Heather Hannah, comunicación personal, noviembre de 2021; ver también el ejemplo del caso de Yellowknife en la sección 3). Se está produciendo una innovación similar en todo el sistema de vigilancia de aguas residuales.

Enfermedades emergentes y otras amenazas para la salud

El esfuerzo por desarrollar un sistema de vigilancia de aguas residuales tiene beneficios potenciales más allá de la pandemia actual. Gran parte del trabajo y el costo de las pruebas de aguas residuales están relacionados con la recolección de muestras, el transporte, el tratamiento, y la presentación de informes. Estos procesos se pueden reutilizar en gran medida para analizar las aguas residuales en busca de otros patógenos y productos químicos que se excretan a través de las heces u orina. El uso de opioides, la resistencia a los medicamentos antimicrobianos, la influenza, la hepatitis A y la poliomielitis se encuentran entre los ejemplos de riesgos para la salud que pueden monitorearse mediante la vigilancia de las aguas residuales (Bade et al. 2019; Bosch et al. 2008; Gracia-Lor et al. 2017; Łuczkiwicz et al. 2010; Sinclair et al. 2008; Vitale et al. 2021; OMS 2003).

Además, el enfoque para detectar el SARS-CoV-2 en las aguas residuales se puede utilizar para realizar pruebas en el aire y en la superficie, que también tienen el potencial de identificar patógenos que no se excretan en las heces (Cherrie et al. 2021). El SARS-CoV-2 y otros patógenos también pueden identificarse por sus proteínas en lugar de su ARN. Las aguas residuales contienen muchas más partículas de proteínas virales que de ARN, lo que sugiere que los ensayos de proteínas para detectar el SARS-CoV-2 pueden ser incluso más sensibles que los ensayos de ARN actuales (Neault et al. 2020).

Fases de una estrategia de vigilancia de aguas residuales



Evaluar

Fase 4



Propósito del programa



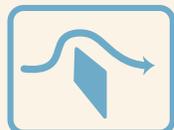
Utilidad de los datos



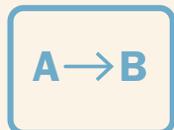
Costo y aceptabilidad de la estrategia



Viabilidad, flexibilidad y sostenibilidad



Barreras y facilitadores



Posibles adaptaciones para el próximo ciclo



Equidad y cuestiones éticas

Fase 4 — Evaluar

Evaluar el programa, adaptarlo (en base a hallazgos y nuevas realidades) y renovar el ciclo

Las estrategias de aguas residuales deben evaluarse de manera crítica e integral para comprender sus éxitos y desafíos y, si es necesario, adaptar o refinar la estrategia. Considere el desarrollo y la implementación de estrategias como un proceso iterativo, volviendo a pasar por las cuatro fases utilizadas para iniciar el programa de vigilancia de las aguas residuales.

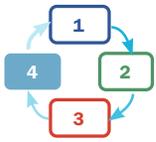
Una evaluación cuidadosa lo preparará para mejorar la estrategia donde sea necesario y estará listo para adaptarla al panorama de COVID-19 que cambia rápidamente. Las recomendaciones establecidas para evaluar los sistemas de vigilancia se basan en siete áreas clave (adaptadas de Groseclose y Buckeridge 2017):

- Propósito del programa
- Utilidad de los datos
- Costo y aceptabilidad de la estrategia
- Viabilidad, flexibilidad y sostenibilidad
- Barreras y facilitadores
- Posibles adaptaciones para el próximo ciclo
- Equidad y cuestiones éticas

Propósito del programa

Revise el propósito y los objetivos del programa. Para muchos programas de vigilancia de aguas residuales, el propósito principal es orientar la acción inmediata para la prevención y el control de la salud pública. Sin embargo, otros propósitos pueden ser relevantes, como asegurar que el COVID-19 no aumenta durante los períodos de baja transmisión y establecer datos de referencia para la investigación epidemiológica y para la vigilancia de otros riesgos para la salud y pandemias futuras.





Utilidad de los datos



Una vez recopilados los datos de las pruebas, analizados y puestos en práctica, su evaluación puede empezar a responder a las preguntas clave: ¿La estrategia de prueba proporcionó los datos requeridos? ¿Los datos apoyaron la toma de decisiones?

Si los datos recopilados no resultaron útiles para el propósito previsto, es importante revisar las posibles explicaciones. ¿Es posible abordar las explicaciones? ¿Si es así, cómo? Examine las posibles soluciones en el contexto de otras consideraciones, incluida la aceptabilidad, la viabilidad y los costos adicionales.

Para guiar su evaluación de la utilidad de los datos, examine estos aspectos del desempeño de la vigilancia:

- **Calidad de datos.** ¿Fueron los datos completos y válidos? ¿Se realizaron controles y aseguramiento de la calidad y cuáles fueron los resultados?
- **Sensibilidad, especificidad y valor predictivo positivo.** ¿Las pruebas de aguas residuales identificaron con precisión nuevos brotes, picos y olas?
- **Estabilidad.** ¿Se recopilaron, administraron y proporcionaron los datos sin fallas (confiabilidad) y los datos estuvieron operativos cuando fueron necesarios (disponibilidad)?
- **Uso de estándares.** ¿Se utilizaron estándares de tecnología de la información para el intercambio de datos y la mensajería?
- **Disponibilidad.** ¿Los datos sobre aguas residuales estaban disponibles para todas las partes interesadas? ¿Los datos estaban disponibles públicamente? ¿Se mantuvieron los datos de manera confidencial y privada cuando fue necesario?
- **Puntualidad.** ¿Las medidas relativas a las aguas residuales se pusieron a disposición de los responsables de la toma de decisiones en materia de salud pública de manera oportuna? ¿Hubo retrasos entre los pasos del proceso de vigilancia?

Costo y aceptabilidad de la estrategia



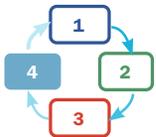
Las estrategias de aguas residuales están diseñadas para ajustarse a presupuestos específicos y servir a propósitos específicos. Los costos previos a la implementación previa deben revisarse contra los costos realizados (reales) de implementación de la estrategia.

Esta revisión debe investigar áreas donde los costos realizados fueron más altos o más bajos de lo anticipado. Es importante considerar por qué se desviaron los costos.

- ¿Hay áreas en las que se podrían ahorrar costos en el futuro? Identificar el potencial de economía de escala al realizar la transición de programas piloto a programas a gran escala.
- ¿Dónde fue más común el exceso de gastos en términos de tipos de costos (por ejemplo, personal, materiales) y cuándo se incurrió (por ejemplo, coordinación, muestreo, transporte, análisis)?

Considere también los costos de manera más amplia, no solo los financieros, sino también los recursos humanos, de laboratorio y otros recursos comunitarios necesarios para una implementación eficiente y efectiva. Una estrategia de prueba ineficaz es una presión sobre los recursos sanitarios limitados.

- ¿Fue la implementación de la estrategia de prueba un uso eficiente de los recursos?
- ¿Se puede mejorar la eficiencia, por ejemplo, haciendo uso de nuevas tecnologías?



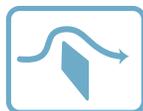
Viabilidad, sostenibilidad y flexibilidad



Si se va a repetir una estrategia, o se va a implementar una nueva estrategia en su lugar, es importante examinar si la próxima iteración será factible y sostenible. La evaluación actual lo ayudará a considerar preguntas clave:

- ¿Qué tensión impuso la estrategia de análisis de aguas residuales sobre los recursos humanos y la capacidad del laboratorio? ¿Es esto algo que se puede mantener?
- ¿Qué materiales y suministros se necesitaron? ¿Son estables las cadenas de suministro de materiales de diagnóstico?

Barreras y facilitadores



Al implementar la estrategia de aguas residuales, ¿qué barreras debían superarse? ¿Qué factores apoyaron la implementación?

Estas preguntas se responden mejor a través de evaluaciones cualitativas, interactuando con las personas involucradas en la implementación de la estrategia para saber qué les ayudó a llevar a cabo sus tareas, qué se interpuso en el camino y qué marcaría la diferencia en el futuro.

Las discusiones abiertas o estructuradas, con el personal involucrado en la implementación y con las personas que se están probando, son útiles para identificar los aspectos negativos y de apoyo de la implementación, basándose en una variedad de experiencias y perspectivas. A menudo, los encuestados brindan información útil y ofrecen posibles soluciones a las barreras comunes.

Los resultados deberían utilizarse para apoyar y consolidar los facilitadores y para eliminar, o al menos mitigar, los posibles obstáculos para mejorar la eficacia y la utilidad de la estrategia.

Posibles adaptaciones para el próximo ciclo

A → B

La vigilancia de las aguas residuales está mejorando rápidamente. Una evaluación de su estrategia de aguas residuales debe incluir la revisión de sus prácticas actuales con las mejores prácticas en todo el mundo. La discusión con otros programas de análisis de aguas residuales es un buen paso en ese proceso.

Con el panorama de COVID-19 que cambia rápidamente, las estrategias no pueden permanecer estancadas. Deben responder a importantes innovaciones que pueden cambiar la precisión, el costo y la eficiencia de los enfoques de vigilancia. Su evaluación debería ayudarlo a prepararse para adaptar la próxima iteración de la estrategia para beneficiarse de nuevos métodos, tecnologías u otras innovaciones.

Equidad y cuestiones éticas



La representación y la cobertura de toda la población es un beneficio potencial de las pruebas de aguas residuales, en comparación con las pruebas clínicas y otros enfoques. ¿Se materializó este potencial? Si no es así, ¿por qué?

Más específicamente, las preguntas clave para hacer y aprender de ellas incluyen:

- ¿Cuál fue la cobertura de población de los sitios de prueba de aguas residuales?
- ¿Las poblaciones incluidas eran representativas de toda la población?
- ¿Se logró la equidad? ¿El muestreo incluyó grupos (como asentamientos informales, prisiones y hogares de cuidados a largo plazo) que tenían un mayor riesgo o eran más vulnerables a una mayor carga de salud?
- ¿Surgieron problemas éticos? ¿Alguien o algún grupo sufrió daños por la estrategia de vigilancia?

El proceso es cíclico

En el contexto de una pandemia continua y cambiante, un ciclo estratégico repetitivo es vital para garantizar la entrega eficiente de recursos escasos, maximizar la salud de la población y mitigar los impactos sociales y económicos del COVID-19.

Un proceso iterativo, que consiste en evaluar sus recursos, renovar o rediseñar una estrategia en torno a las prioridades identificadas, comprometerse con los actores clave para darle a su implementación la mejor oportunidad de éxito y reevaluar los procesos y resultados, ayudará a sus enfoques de vigilancia a responder a las nuevas condiciones y a las nuevas oportunidades.

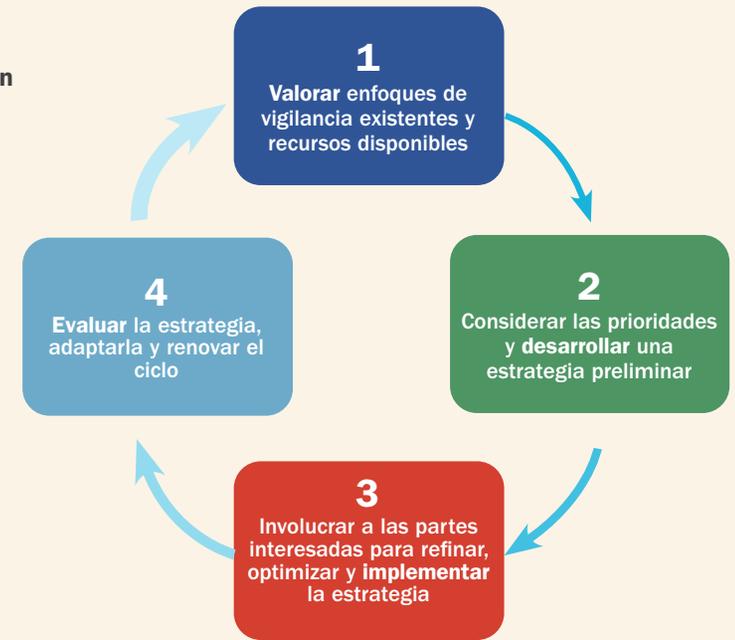
Primera iteración: Cuando se ha realizado una evaluación exhaustiva, se repite el proceso de priorización de poblaciones, desarrollo y optimización de una estrategia e implementación de la estrategia.

Iteraciones posteriores: Este proceso puede acelerarse en comparación con la primera iteración, utilizando la experiencia y los conocimientos adquiridos. Si bien es acelerado, este proceso no debe evitarse. Las prioridades cambian y también lo hacen los recursos disponibles. ¿Qué se necesita ahora? ¿Qué es realista?

En el mundo real, por supuesto, no siempre es posible implementar y evaluar la vigilancia en fases distintas y ordenadas. Habrá muchas superposiciones desordenadas, muchos momentos de “construir el avión en el aire”, como ha sucedido a lo largo de esta pandemia mundial.

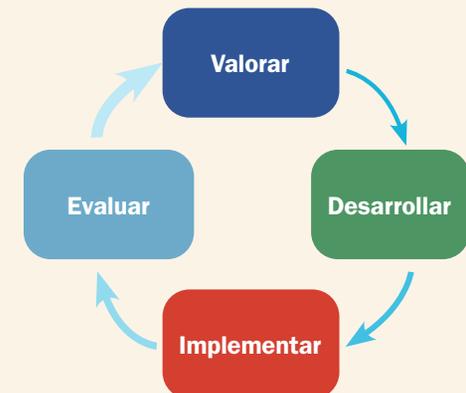
A pesar de estos desafíos, una estrategia de prueba de aguas residuales bien diseñada y cuidadosamente ejecutada puede ser una parte productiva del conjunto de herramientas de vigilancia de cualquier país para responder y controlar el COVID-19.

Primera iteración



Iteraciones posteriores

Este proceso puede acelerarse en comparación con la primera iteración, utilizando la experiencia y los conocimientos adquiridos.



Referencias

- Bade, R., M. Ghetia, L. Nguyen, B. J. Tschärke, J. M. White, y C. Gerber. 2019. "Simultaneous Determination of 24 Opioids, Stimulants and New Psychoactive Substances in Wastewater." *MethodsX* 6: 953–960. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.04.016>
- Banco Mundial. 2021a. "Safeguarding Animal, Human and Ecosystem Health: One Health at the World Bank." Banco Mundial Nota. 3 Junio 2021. Recuperado 14 Enero 2021. <https://www.worldbank.org/en/topic/agriculture/brief/safeguarding-animal-human-and-ecosystem-health-one-health-at-the-world-bank>
- Banco Mundial. 2021b. "COVID-19 and Climate-Smart Health Care: Health Sector Opportunities for a Synergistic Response to the COVID-19 and Climate Crises." Banco Mundial. <https://doi.org/10.1596/36498>
- Belcher, B. M., K. E. Rasmussen, M. R. Kemshaw, y D. A. Zornes. 2016. "Defining and Assessing Research Quality in a Transdisciplinary Context." *Research Evaluation* 25 (1): 1–17. <https://doi.org/10.1093/reseval/rvw025>
- Belcher, B., R. Claus, R. Davel, S. Jones, y D. Pinto. 2021. "A Tool for Transdisciplinary Research Planning and Evaluation." *Integration and Implementation Insights* (blog), 29 de octubre de 2021. <https://i2insights.org/2021/09/02/transdisciplinary-research-evaluation/>
- Bivins, A., D. North, A. Ahmad, W. Ahmed, E. Alm, F. Been, P. Bhattacharya, L. Bijlsma, A. B. Boehm, J. Brown, G. Buttiglieri, V. Calabro, A. Carducci, S. Castiglioni, Z. Cetecioglu Gurol, S. Chakraborty, F. Costa, S. Curcio, F. L. de los Reyes, ... K. Bibby. 2020. "Wastewater-Based Epidemiology: Global Collaborative to Maximize Contributions in the Fight Against COVID-19." *Environmental Science & Technology* 54 (13): 7754–7757. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c02388>
- Bosch, A., S. Guix, D. Sano, y R. M. Pintó. 2008. "New Tools for the Study and Direct Surveillance of Viral Pathogens in Water." *Energy Biotechnology / Environmental Biotechnology* 19 (3): 295–301. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2008.04.006>
- CDC (Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades). 2020. "National Wastewater Surveillance System (NWSS): A New Public Health Tool to Understand COVID-19 Spread in a Community." *Waterborne Disease & Outbreak Surveillance Reporting* (CDC website, retrieved October 10, 2021). <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/cases-updates/wastewater-surveillance.html>
- Centro de Tecnología Sostenible de Agua y Energía de la Universidad de Arizona. 2020. "Wastewater Testing at UArizona Stops Coronavirus Spread; Garners National Attention." 31 de agosto de 2020. <https://west.arizona.edu/news/2020/08/wastewater-testing-uarizona-stops-coronavirus-spread-garners-national-attention>
- Cherrie, J. W., M. P. C. Cherrie, A. Davis, D. Holmes, S. Semple, S. Steinle, E. MacDonald, G. Moore, y M. Loh. 2021. "Contamination of Air and Surfaces in Workplaces with SARS-CoV-2 Virus: A Systematic Review." *medRxiv*, 26 de enero de 2021. <https://doi.org/10.1101/2021.01.25.21250233>. Now published in *Annals of Work Exposures and Health* doi:10.1093/annweh/wxab026.
- Comisión Europea. 2021. "EU to Invest €150 Million for Research to Counter Coronavirus Variants." Comunicado de prensa de 17 de febrero de 2021. https://ec.europa.eu/info/news/eu-invest-eu150-million-research-counter-coronavirus-variants-2021-feb-17_en
- Gawlik, B. M., y G. Medema (Organizers). 2021. "SARS-CoV-2 Monitoring Employing Sewers: Designing the EU Sewer Sentinel System for SARS-CoV-2 (EUS4), 4th Town Hall Meeting." 22 de marzo de 2021. <https://ec.europa.eu/jrc/en/event/conference/eu4s-4th-town-hall-meeting>
- Gawlik, B. M., S. Tavazzi, G. Mariani, H. Skejo, M. Sponar, T. Higgins, G. Medema, y T. Wintgens. 2021. *SARS-CoV-2 Surveillance Employing Sewers Towards a Sentinel System: Feasibility Assessment of an EU Approach*, EUR 30684 EN. Luxembourg: Publications Office of the European Union. ISBN 978-92-76-36888-5, doi:10.2760/300580, JRC125065.
- Gracia-Lor, E., S. Castiglioni, R. Bade, F. Been, E. Castrignanò, A. Covaci, I. González-Mariño, E. Hapeshi, B. Kasprzyk-Hordern, J. Kinyua, F. Y. Lai, T. Letzel, L. Lopardo, M. R. Meyer, J. O'Brien, P. Ramin, N. I. Rousis, A. Rydevik, Y. Ryu, ... L. Bijlsma. 2017. "Measuring Biomarkers in Wastewater as a New Source of Epidemiological Information: Current State and Future Perspectives." *Environment International*, 99, 131–150. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.12.016>
- Groseclose, S. L., y D. L. Buckeridge. 2017. "Public Health Surveillance Systems: Recent Advances in Their Use and Evaluation." *Annual Review of Public Health* 38: 57–79. <https://www.annualreviews.org/doi/full/10.1146/annurev-publhealth-031816-044348>

Harris-Lovett, S., K. Nelson, P. Beamer, H. N. Bischel, A. Bivins, A. Bruder, C. Butler, T. D. Camenisch, S. K. De Long, K. Smruthi, D. A. Larsen, K. Meierdiercks, P. Mouser, S. Pagsuyoin, S. Prasek, T. S. Radniecki, J. L. Ram, D. K. Roper, H. Safford, S. P. Sherchan, W. Shuster, T. Stalder, R. T. Wheeler, K. Smith Korfmacher. 2021. "Wastewater Surveillance for SARS-CoV-2 on College Campuses: Initial Efforts, Lessons Learned and Research Needs." *medRxiv*, 3 de Febrero de 2021. <https://doi.org/10.1101/2021.02.01.21250952>. Now published in *International Journal of Environmental Research and Public Health* doi:10.3390/ijerph18094455

Hart, O. E., y R. U. Halden. 2020. "Computational Analysis of SARS-CoV-2/COVID-19 Surveillance by Wastewater-Based Epidemiology Locally and Globally: Feasibility, Economy, Opportunities and Challenges." *Science of the Total Environment* 730, 138875. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720323925>

Hasell, J., E. Mathieu, D. Beltekian, B. Macdonald, C. Giattino, E. Ortiz-Ospina, M. Roser, y H. Ritchie. 2020. "A Cross-Country Database of COVID-19 Testing." *Scientific Data* 7 (1): 345. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-00688-8> (para obtener datos sobre pruebas en América Latina y el Caribe, consulte este, enlace en *Our World in Data*)

Health and Social Services, Government of the Northwest Territories. 2020. "Five Positive COVID-19 Diagnoses Identified in Yellowknife." Comunicado de prensa, 10 de diciembre de 2020. <https://www.hss.gov.nt.ca/en/newsroom/five-positive-covid-19-diagnoses-identified-yellowknife>

Jasanoff, S. 2015. "Serviceable Truths: Science for Action in Law and Policy." *Texas Law Review* 93 (7): 1723–1749.

Keshaviah, A., X. C. Hu, y M. Henry. 2021. "Developing a Flexible National Wastewater Surveillance System for COVID-19 and Beyond." *Environmental Health Perspectives* 129 (4). doi:10.1289/EHP8572

Kreier, F. 2021. "The Myriad Ways Sewage Surveillance Is Helping Fight COVID Around the World." *Nature*. 10 de Mayo de 2021. <https://doi.org/10.1038/d41586-021-01234-1>.

Landgraff, C., L. Y. R. Wang, C. Buchanan, M. Wells, J. Schonfeld, K. Bessonov, J. Ali, E. Robert, y C. Nadon. 2021. "Metagenomic Sequencing of Municipal Wastewater Provides a Near-Complete SARS-CoV-2 Genome Sequence Identified as the B.1.1.7 Variant of Concern from a Canadian Municipality Concurrent with an Outbreak." *medRxiv*, 17 de marzo de 2021. <https://doi.org/10.1101/2021.03.11.21253409>

Lee, W. L., M. Imakaev, F. Armas, K.A. McElroy, X. Gu, C. Duvallet, F. Chandra, H. Chen, M. Leifels, S. Mendola, R. Floyd-O'Sullivan, M. M. Powell, S. T. Wilson, K. L. J. Berge, C. Y. J. Lim, F. Wu, A. Xiao, K. Moniz, N. Ghaeli, M. Matus, J. Thompson, y E. J. Alm. 2021. "Quantitative SARS-CoV-2 Alpha Variant B.1.1.7 Tracking in Wastewater by Allele-Specific RT-qPCR." *Environmental Science & Technology Letters* 8 (8): 675–682. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.1c00375>

Łuczkiwicz, A., K. Jankowska, S. Fudala-Książek, y K. Olańczuk-Neyman. 2010. "Antimicrobial Resistance of Fecal Indicators in Municipal Wastewater Treatment Plant." *Microbial Ecology of Drinking Water and Waste Water Treatment Processes* 44 (17): 5089–5097. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.08.007>

Manuel, D., R. Delatolla, D. N. Fisman, M. Fuzzen, T. E. Graber, G. M. Katz, J. Kim, C. Landgraff, A. MacKenzie, A. Maltsev, A. Majury, R. McKay, J. Minnery, J.S. Weese, A. McGeer, K. B. Born, K. Barrett, B. Schwartz, y P. Jüni. 2021. "The Role of Wastewater Testing for SARS-CoV-2 Surveillance." *Science Briefs of Ontario COVID-19 Science Advisory Table 2* (40) <https://doi.org/10.47326/ocsat.2021.02.40.1.0>

Ministerio de Medio Ambiente, Conservación y Parques de Ontario. 2021 (agosto). *Protocol for Evaluations of RT-QPCR Performance Characteristics - Technical Guidance*. Toronto.

National Academies of Sciences, Engineering and Medicine. 2018. *Open Science by Design: Realizing a Vision for 21st Century Research*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25116>.

Naughton, C.C., F. A. Roman Jr., A. G. F. Alvarado, A. Q. Tariqi, M. A. Deeming, K. Bibby, A. Bivins, J. B. Rose, G. Medema, W. Ahmed, P. Katsivellis, V. Allan, R. Sinclair, Y. Zhang, y M. N. Kinyua. 2021a. "Show Us the Data: Global COVID-19 Wastewater Monitoring Efforts, Equity, and Gaps." *medRxiv*. <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2021.03.14.21253564v2>

Naughton, C.C., F. A. R. Roman, A. Q. Tariqi, y K. K. Kadonsky. 2021b. "COVID-Poops19 Summary of Global SARS-CoV-2 Wastewater Monitoring Efforts by UC Merced Researchers." *ArcGIS Online Dashboard*, creado en septiembre de 2021. <https://arcg.is/1aummW>

Neault, N., A. T. Baig, T. E. Graber, P. M. D'Aoust, E. Mercier, I. Alexandrov, D. Crosby, S. Baird, J. Mayne, T. Pounds, M. MacKenzie, D. Figeys, A. MacKenzie, y R. Delatolla. 2020. "SARS-CoV-2 Protein in Wastewater Mirrors COVID-19 Prevalence." *medRxiv*, 2020.09.01.20185280. <https://doi.org/10.1101/2020.09.01.20185280>

Ogden, N. H., P. AbdelMalik, and J. Pulliam. 2017. "Emerging infectious diseases: Prediction and detection." *Canada Communicable Disease Report*, 43(10), 206–211. <https://doi.org/10.14745/ccdr.v43i10a03>

OMS (Organización Mundial de la Salud). 2003. *Guidelines for Environmental Surveillance of Poliovirus Circulation* No. WHO/V&B/03.03. Geneva: WHO. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/67854/?sequence=1>

OMS (Organización Mundial de la Salud). 2020a. *Rapid Expert Consultation on Environmental Surveillance of SARS-COV-2 in Wastewater*. Summary Report of Virtual Meeting WHO/EURO:2020-1093-40839-55199; p. 17. Geneva: WHO.

OMS (Organización Mundial de la Salud). 2020b. *Status of Environmental Surveillance for SARS-CoV-2 Virus. Scientific Brief*. 7 de agosto de 2020. Geneva: WHO. <https://www.who.int/news-room/commentaries/detail/status-of-environmental-surveillance-for-sars-cov-2-virus>

Schang, C., N. D. Crosbie, M. Nolan, R. Poon, M. Wang, Aaron Jex, Nijoy John, L. Baker, P. Scales, J. Schmidt, B. R. Thorley, K. Hill, A. Zamyadi, C-W. Tseng, R. Henry, P. Kolotelo, J. Langeveld, R. Schilperoort, B. Shi, S. Einsiedel, M. Thomas, J. Black, S. Wilson, y D. T. McCarthy. 2021. "Passive Sampling of SARS-CoV-2 for Wastewater Surveillance." *Environmental Science & Technology* 55 (15): 10432–10441. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c01530>.

Sinclair, R. G., C. Y. Choi, M. R. Riley, y C. P. Gerba. 2008. "Chapter 9—Pathogen Surveillance Through Monitoring of Sewer Systems." In *Advances in Applied Microbiology*, editado por A. I. Laskin, S. Sariaslani, y G. M. Gadd, 65: 249–269. Cambridge: Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0065-2164\(08\)00609-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2164(08)00609-6)

Stanoeva, K. R., A. A. van der Eijk, A. Meijer, L. M. Kortbeek, M. P.G. Koopmans, y C.B. E. M. Reusken. 2021. "Towards a Sensitive and Accurate Interpretation of Molecular Testing for SARS-CoV-2: A Rapid Review of 264 Studies." *Euro Surveillance* 26 (10): 2001134. doi:10.2807/1560-7917.ES.2021.26.10.2001134.

Tecnología Gubernamental. 2021. "HHS Chooses Biobot to Test Sewage for COVID-19 Nationwide." *Government Technology*, 28 de mayo de 2021. <https://www.govtech.com/biz/hhs-chooses-biobot-to-test-sewage-for-covid-19-nationwide>

Vitale, D., M. Morales Suárez-Varela, y Y. Picó. 2021. "Wastewater-Based Epidemiology, A Tool to Bridge Biomarkers of Exposure, Contaminants, and Human Health." *Current Opinion in Environmental Science & Health* 20, 100229. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100229>

Water Research Australia. 2020. "ColoSSoS – Best Practice Principles for Communication and Data Integration." 17 de agosto de 2020. <https://www.waterra.com.au/publications/latest-news/2020/colossos-a-a-world-first-development-and-operation-of-sewage-research-for-sars-cov-2/>

Wu, F., A. Xiao, J. Zhang, K. Moniz, N. Endo, F. Armas, M. Bushman, P.R. Chai, C. Duvall, T. B. Erickson, K. Foppe, N. Ghaeli, X. Gu, W. P. Hanage, K. H. Huang, W. L. Lee, M. Matus, K. A. McElroy, S. F. Rhode, S. Wuertz, J. Thompson, y E. J. Alm. 2021. "Wastewater Surveillance of SARS-CoV-2 Across 40 U.S. States." *medRxiv* March 14, 2021. <https://doi.org/10.1101/2021.03.10.21253235>. Now published in *Water Research* doi: 10.1016/j.watres.2021.117400

Zhang, W., R-H. Du, B. Li, X-S. Zheng, X-L. Yang, B Hu, Y-Y. Wang, G-F. Xiao, B. Yan, Z-L. Shi, y P. Zhou. 2020. "Molecular and Serological Investigation of 2019-nCoV Infected Patients: Implication of Multiple Shedding Routes." *Emerging Microbes & Infections* 9 (1): 386–9. <https://doi.org/10.1080/22221751.2020.1729071>

Zuccato, E., C. Chiabrando, S. Castiglioni, D. Calamari, R. Bagnati, S. Schiarea, y R. Fanelli. 2005. "Cocaine in Surface Waters: A New Evidence-Based Tool to Monitor Community Drug Abuse." *Environmental Health* 4 (1): 14. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-4-14>



SERIE DE PRUEBAS DE LAC COVID-19

Este informe es parte de una serie de productos de conocimiento desarrollados por el Grupo del Banco Mundial en respuesta a la pandemia de COVID-19 en América Latina y el Caribe. Otros productos de conocimiento están disponibles en: www.worldbank.org/en/region/lac/brief/knowledge-covid-19-response

worldbank.org

