

Epidemiología y sociología basadas en el análisis de las aguas residuales

Las aguas residuales aportan información sobre hábitos de consumo e indicadores de salud de una población

Lluís Corominas, Carles Borrego, Mònica Escolà, Pablo Gago-Ferrero, Mira Petrovic, Sara Rodríguez-Mozaz, Nicole Schröter, Ivan Senta, Ian Zammit; del Institut Català de Recerca de l'Aigua (ICRA)



Dentro del Institut Català de Recerca de l'Aigua (ICRA, www.icra.cat) se estableció a finales de 2018 una iniciativa de investigación multidisciplinar que integra ingenieros, químicos analíticos y microbiólogos para estudiar los patrones de consumo y estado de salud de una población a través del análisis químico y microbiológico de sus aguas residuales. El presente artículo tiene por objetivo compartir la visión de los participantes de esta iniciativa fundamentada en el análisis del pasado, presente y futuro de la sociología y epidemiología basadas en el análisis de aguas residuales. Más allá de la reciente y popular monitorización de la propagación de la Sars-CoV-2 en poblaciones a partir de sus aguas residuales, existe una trayectoria de más de 15 años de grupos de investigación españoles e internacionales que han conseguido logros en el campo de la química analítica que permiten imaginar un futuro en el cual las aguas residuales se van a valorar por su información. Así, dentro del marco de la recuperación de recursos (agua, nutrientes, energía) a partir de las aguas residuales, se añade la dimensión de recuperación de información (*sewage information mining* -SIM-) (Garrido-Baserba *et al.*, 2020).



¿QUÉ SON LA EPIDEMIOLOGÍA Y LA SOCIOLOGÍA BASADAS EN EL ANÁLISIS DE LAS AGUAS RESIDUALES?

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define epidemiología como "el estudio de la distribución y los determinantes de los estados o eventos relacionados con la salud (incluida la enfermedad) y la aplicación de estos estudios para el control de enfermedades". La epidemiología basada en el análisis de las aguas residuales (EAAR) tiene como objetivo aportar información objetiva y cuantitativa del estado de salud de una población, así como de sus factores de riesgo a partir del análisis de las aguas residuales. La idea de EAAR fue propuesta en 2001 y desde entonces se han realizado docenas de estudios para validar el concepto, la mayoría de ellos relacionados con la estimación del consumo de drogas de una población (Bijlsma *et al.*, 2018). La EAAR se ha convertido en el método de referencia para medir las variaciones en el consumo de estas sustancias en el tiempo en un área determinada, así como para hacer comparaciones entre poblaciones. Otros estudios con metodología similar han conseguido estimar la exposición de la población a plaguicidas, estimar el consumo de fármacos en zonas concretas, la estimación de factores de riesgo de salud de una población y, actualmente, la popular y mediática cuantificación del SARS-CoV-2 en las aguas residuales para realizar el seguimiento de la propagación del virus en una comunidad concreta.

Así mismo, la sociología basada en el análisis de las aguas residuales (SAAR) (*sewage sociology en inglés*) se define como "la rama de la ciencia relacionadas con la sociedad y el comportamiento humano estudiadas a través de las aguas residuales". Hasta ahora, este término se ha utilizado en el marco de estudios que analizan los caudales en la red de colectores para extraer información sobre patrones de comportamiento de una población (Enfinger y Stevens, 2014), pero se puede ir más allá del análisis de caudales. Por ejemplo, la medición de las concentraciones de sustancias químicas o de indicadores microbiológicos pueden proporcionar información sobre los hábitos de consumo y ocio de una población, así como de los hábitos relacionados con la gestión doméstica de los residuos. En definitiva, a través de estos análisis se puede caracterizar la personalidad de una ciudad o de un barrio.

La EAAR y la SAAR utilizan las mismas herramientas (lo que se conoce en inglés como *sewage information mining* -SIM-), pero tienen finalidades distintas y son



Participantes en la iniciativa de investigación del ICRA.

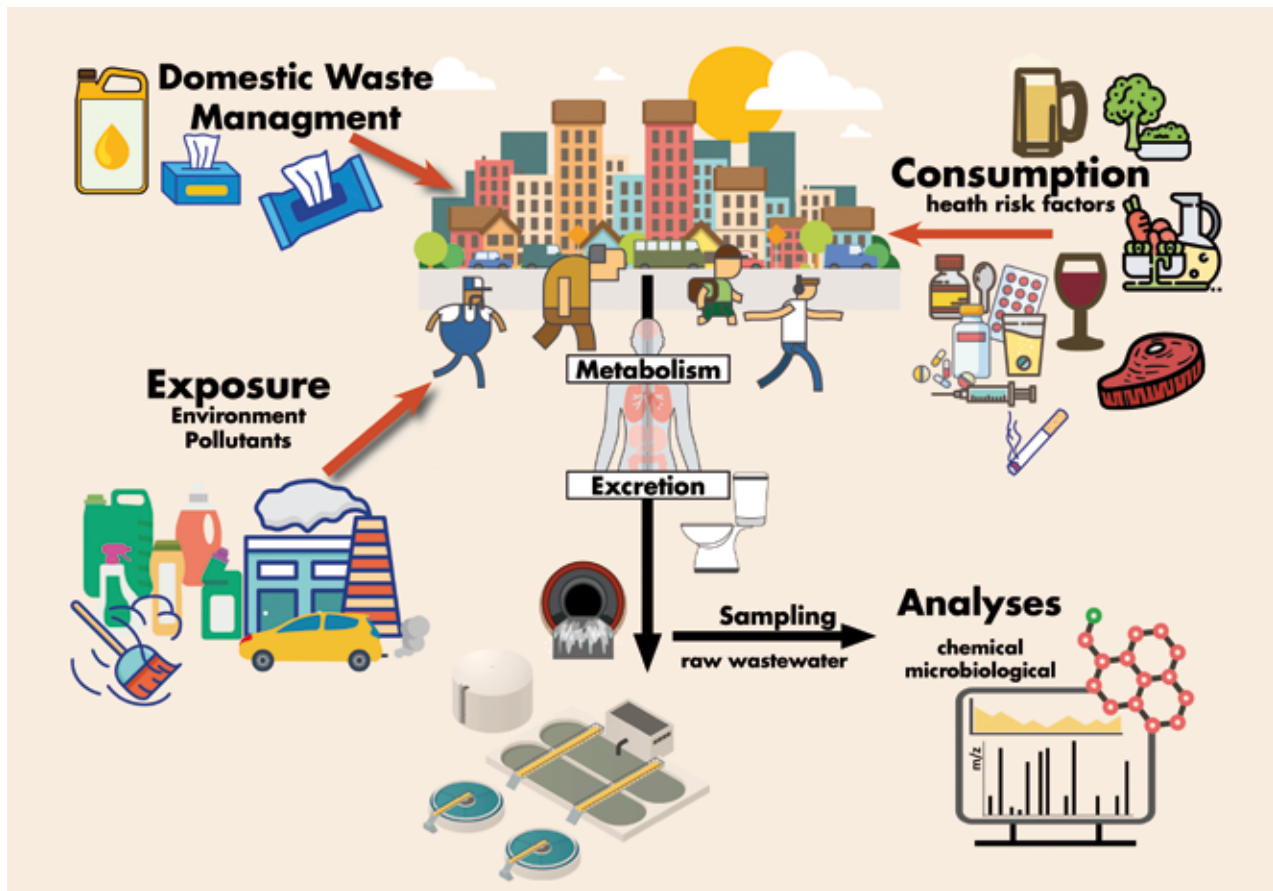
ejemplos claros de lo que representa la investigación transdisciplinar, donde se desdibujan las fronteras entre las diferentes disciplinas científicas (sociología, epidemiología, ingeniería, microbiología y química).

LA MINERÍA DE INFORMACIÓN A PARTIR DE LAS AGUAS RESIDUALES ES UN TEMA DE ACTUALIDAD

Los resultados y los conocimientos generados a partir de estudios relacionados con la SIM están generando interés en la sociedad, como demuestran una serie de titulares de noticias: 'Lo que los residuos humanos pueden decirnos sobre los ingresos, la dieta y la salud' (Celine Ribeiro, octubre de 2019, BBC); 'Hay una diferencia desalentadora entre las aguas residuales de las zonas ricas y las de las zonas pobres' (Michelle Starr, octubre de 2019, Science Alert); 'Los científicos pueden saber cuán rico eres examinando tus aguas residuales' (Peter Hess, octubre de 2019, Inverso); y 'El estudio de las aguas residuales da pistas sobre el estatus socioeconómico y los hábitos de las personas' (Bob Yirka, octubre de 2019, Phys.org), por nombrar solo algunos que se publicaron en 2019.

Recientemente, la EAAR ha aumentado su popularidad después que el instituto holandés KWR detectara la presencia del agente etiológico causante de la COVID-19, el coronavirus SARS-CoV-2 en aguas residuales (Medema *et al.*, 2020) y que se publicaran los resultados Nature (Nature news, 2020). Esto pone de manifiesto que la SIM puede convertirse en una herramienta útil para mejorar el conocimiento de nuestra sociedad y prevenir posibles amenazas como las causadas por epidemias como la que nos asola en estos momentos a través del desarrollo de sistemas de alerta temprana.

Concepto de la minería de datos a partir de las aguas residuales como herramienta para la epidemiología y la sociología. Imágenes obtenidas de vecteezy.com.



¿CUÁL ES LA CONTRIBUCIÓN DEL ICRA A LA SAAR Y LA EAAR?

El ICRA participa actualmente en dos proyectos financiados por la Unión Europea donde se aplica la SIM. El proyecto H2020 SCOREwater (scorewater.eu) está liderado por el IVL Swedish Environmental Research Institute y tiene por objetivo incrementar la resiliencia de las ciudades mediante la digitalización del sector del agua. SCOREwater cuenta con un *living lab* en Barcelona, coordinado por el ICRA y con la participación de cuatro socios catalanes: el centro tecnológico Eurecat, el Consorcio Instituto de Estudios Regionales y Metropolitanos de Barcelona (IERMB), la pyme fabricante de sensores *s::can Iberia* y el operador público municipal del agua, Barcelona Ciclo del Agua (BCASA).

Juntos trabajan en el *living lab* de Barcelona, donde se monitorizará el agua residual de 3 barrios durante 1 año para generar información útil en el marco de la EAAR y la SAAR. Se van a monitorizar factores de riesgo de salud, patrones de consumo de agua, hábitos de gestión de residuos en los hogares, de forma agregada y anonimizada a partir de las aguas residuales de la población. Todos los

datos se analizarán conjuntamente con la información socioeconómica, de salud y mediante encuestas telefónicas. El estudio se hace desde tres enfoques diferentes:

- La ingeniería, mediante el despliegue de estaciones de monitorización en colectores.
- La química, con el desarrollo de nuevas herramientas analíticas.
- La microbiología, con el estudio de la diversidad microbiana y de los genes de resistencia a antibióticos.

El segundo es el proyecto SCHEME que, liderado por el investigador Ivan Senta, se centra en el desarrollo de una metodología analítica para la determinación de biomarcadores de exposición humana a contaminantes químicos derivados de productos para el cuidado personal y productos químicos industriales. La aplicabilidad de la metodología desarrollada por SCHEME se evaluará utilizando muestras de aguas residuales de cuatro ciudades europeas.

Además, el ICRA ha iniciado recientemente un estudio para la detección y cuantificación del SARS-CoV-2



en aguas residuales. De acuerdo con el conocimiento actual deberíamos ser capaces de detectar decenas de individuos infectados en una población de 100.000 habitantes. La principal virtud del enfoque es que permitiría detectar una potencial epidemia (o un rebrote) en aguas residuales días antes de que los afectados desarrollasen los primeros síntomas y acudiesen a los hospitales. De esta forma se podrían anticipar las medidas adecuadas para gestionar la situación y contener la propagación de la enfermedad. Actualmente es posible desplegar una red de vigilancia a partir de las estaciones depuradoras de aguas residuales existentes que hacen la colección y el tratamiento del agua residual generada en las ciudades. En un futuro cercano, mediante las capacidades desarrolladas en SCOREwater, será posible desplegar redes de vigilancia de salud a nivel de barrio (unidad censal, comunidad) para poder tomar medidas de actuación dentro de una misma ciudad.

EL VALOR REAL DE LA INFORMACIÓN GENERADA A PARTIR DE LAS AGUAS RESIDUALES

Aunque la EAAR y la SAAR son temas de actualidad y tienen mucho potencial, los investigadores deben ser realistas sobre la información que el método puede proporcionar, pero también de sus limitaciones e incertidumbres. Las siguientes aplicaciones son las más prometedoras:

- **Vigilancia del consumo de drogas.** Obtener información sobre el consumo de drogas de una población es costoso y conlleva gran incertidumbre. Se realiza sobre la base de incautaciones, encuestas a la población, e ingresos hospitalarios relacionados con el consumo de drogas. Diferentes estudios relacionados con la EAAR han demostrado que es factible realizar una estimación del consumo de drogas a nivel de población. Cabe resaltar un estudio que ha monitorizado el consumo de drogas durante 7 años en varias ciudades europeas. Se identificaron tendencias y perfiles específicos de consumo de drogas mucho antes que con otras fuentes de información (González-Mariño *et al.*, 2020). La EAAR ha demostrado ser un instrumento sumamente flexible

para su aplicación a diferentes escalas espaciales y temporales y puede poner en marcha medidas de actuación casi en tiempo real (González-Mariño *et al.*, 2020). Cabe destacar la Red Española de Análisis de Aguas Residuales con Fines Epidemiológicos (ESAR-NET) que ha realizado un gran trabajo de diseminación involucrando a las agencias de salud pública de España y de *networking* con centros de investigación internacionales. En resumen, la epidemiología basada en las aguas residuales se ha consolidado como un instrumento importante para la vigilancia del consumo de drogas.

- **Vigilancia del consumo de fármacos.** La EAAR permite estimar el consumo de fármacos de una población (van Nuijs *et al.*, 2015; Choi *et al.*, 2018). La aproximación funciona con un diverso rango de fármacos (no para todos, debido a su inestabilidad en las aguas residuales o a las dificultades analíticas), permite realizar una estimación de la venta de fármacos que no se deberían vender sin receta médica (por ejemplo los antibióticos) o evaluar la efectividad de medidas relacionadas con sustituciones de fármacos (por ejemplo, realizar un seguimiento de las recomendaciones de organizaciones de salud para la sustitución de diclofenaco y ranitidina por otros compuestos). Aunque es cierto que existen bases de datos de salud que contienen datos de las recetas médicas, estas no incluyen datos sobre las ventas. De esta forma, la EAAR puede aportar información cuantitativa del consumo total (las ventas), que puede diferir substancialmente del consumo obtenido a partir de las recetas médicas. Además, esta aproximación podría tener utilidad en países que no disponen de bases de datos de salud o de ventas, para realizar una vigilancia del consumo de fármacos de una población.

- **Vigilancia de epidemias.** El análisis de virus en aguas residuales se lleva realizando desde hace años (Fernandez-Cassi *et al.*, 2018; proyecto Underworlds de América del Norte, por citar algunos ejemplos). A partir de la pandemia COVID-19 se ha popularizado la aplicación de la web para la vigilancia de epidemias. Existen ya resultados preliminares exitosos sobre la efectividad de la

» El ICRA ha iniciado un estudio para la detección y cuantificación del SARS-CoV-2 con un enfoque que permitiría detectar una potencial epidemia (o un rebrote) en las aguas residuales días antes de que los afectados desarrollen los primeros síntomas y acudan a los hospitales

web para esta finalidad (Medema *et al.*, 2020; Ahmed *et al.*, 2020; Wurtzer *et al.*, 2020). Cabe remarcar, además, que también se podría hacer seguimiento de epidemias causadas por otros agentes patógenos como bacterias y hongos. Se prevé un gran aumento en el número de estudios en esta temática durante los próximos meses.

¿QUÉ PODEMOS ESPERAR EN EL FUTURO? LA OPINIÓN DE ICRA

Es de esperar que el número de estudios basados en el análisis de aguas residuales, tanto con un enfoque de SAAR como de EAAR, aumente significativamente en los próximos años, siendo la pandemia del COVID-19 el primer ejemplo de ello. Esta disciplina ha sido liderada hasta la fecha mayoritariamente por químicos analíticos, pero se están integrando paulatinamente expertos de otras áreas, como epidemiólogos, microbiólogos, ingenieros, sociólogos, médicos. Además, como las posibilidades de las aplicaciones SAAR y la EAAR son muy variadas, es necesario trabajar en la definición de propuestas de valor con la participación de los principales interesados, como los organismos responsables de la vigilancia de la salud y de la gestión de residuos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer el apoyo del Departament d'Economia i Coneixement del Gobierno catalán a través del Grupo de Investigación Consolidado (ICRA-TECNOLOGÍA – 2017 SGR 1318). Agradecen financiación de la unión europea (SCOREwater, H2020, grant agreement no 820751) y SCHEME (Marie Skłodowska-Curie grant agreement No. 845736).

Bibliografía

- [1] Bijlsma, L.; Celma, A.; González-Mariño, I.; Postigo, C.; Andreu, V.; Andrés-Costa, M.J.; Hernández, F.; López de Alda, M.; López-García, E.; Marcé, R.M.; Montes, R.; Pocurull, E.; Picó, Y.; Rodil, R.; Rodríguez-Gil, J.L.; Valcárcel, Y.; Quintana, J.B. (2018). Análisis de aguas residuales con fines epidemiológicos: aplicaciones a la estimación del consumo de sustancias de abuso y en salud pública en general. Red española ESAR-Net. Rev. Esp. Salud Pública, 92, 20 de agosto e201808053.
- [2] Bijlsma, L.; Botero-Coy, A.M.; Rincón, R.J.; Peñuela, G.A.; Hernández, F. (2016). Estimation of illicit drug use in the main cities of Colombia by means of urban wastewater analysis. Sci. Total Environ., núm. 565, págs. 984-993. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.078>.
- [3] Castiglioni, S.; Senta, I.; Borsotti, A.; Davoli, E.; Zuccato, E. (2015). A novel approach for monitoring tobacco use in local communities by wastewater analysis. Tob. Control, núm. 24, págs. 38-42. <https://doi.org/10.1136/tobaccocontrol-2014-051553>.
- [4] Choi, P.M.; Tschärke, B.J.; Donner, E.; O'Brien, J.W.; Grant, S.C.; Kaserzon, S.L.; Mackie, R.; O'Malley, E.; Crosbie, N.D.; Thomas, K.V.; Mueller, J.F. (2018). Wastewater-based epidemiology biomarkers: Past, present and future. TrAC-Trends Anal. Chem. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.06.004>.
- [5] Daughton, C.G. (2001). Illicit Drugs in Municipal Sewage. <https://doi.org/10.1021/bk-2001-0791.ch020>.
- [6] Daughton, C.G. (2018). Monitoring wastewater for assessing community health: Sewage Chemical-Information Mining (SCIM). Sci. Total Environ.
- [7] Enfinger, K.L.; Stevens, P.L. (2014). Sewer Sociology – The Days of Our (Sewer) Lives. Proc. Water Environ. Fed. <https://doi.org/10.2175/193864706783761365>.
- [8] Garrido-Baserba, M.; Corominas, L.; Cortés, U.; Rosso, D.; Poch, M. (2020). The fourth-revolution in the water sector encounters the digital revolution. Environ. Sci. Technol., núm. 54 (8), págs. 4.698-4.705. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b04251>.
- [9] González-Mariño, I.; Baz-Lomba, J.A.; Alygizakis, N.A.; Andrés-Costa, M.J.; Bade, R.; Barron, L.P.; Been, F.; Berset, J.D.; Bijlsma, L.; Bodik, I.; Brenner, A.; Brock, A.L.; Burgard, D.A.; Castrignanò, E.; Christophoridis, C.E.; Covaci, A.; de Voogt, P.; Devault, D.A.; Dias, M.J.; Emke, E.; Fatta-Kassinos, D.; Fedorova, G.; Fytianos, K.; Gerber, C.; Grabic, R.; Grüner, S.; Gunnar, T.; Hapeshi, E.; Heath, E.; Helm, B.; Hernández, F.; Kankaanpää, A.; Karolak, S.; Kasprzyk-Hordern, B.; Krizman-Matasic, I.; Lai, F.Y.; Lechowicz, W.; Lopes, A.; López de Alda, M.; López-García, E.; Löve, A.S.C.; Mastroianni, N.; McEneff, G.L.; Montes, R.; Munro, K.; Nefau, T.; Oberacher, H.; O'Brien, J.W.; Olafsdottir, K.; Picó, Y.; Plósz, B.G.; Polesel, F.; Postigo, C.; Quintana, J.B.; Ramin, P.; Reid, M.J.; Rice, J.; Rodil, R.; Senta, I.; Simões, S.M.; Sremacki, M.M.; Styszko, K.; Terzic, S.; Thomaidis, N.S.; Thomas, K.V.; Tschärke, B.J.; van Nuijs, A.L.N.; Yargeau, V.; Zuccato, E.; Castiglioni, S.; Ort, C. (2020). Spatio-temporal assessment of illicit drug use at large scale: evidence from 7 years of international wastewater monitoring. Addiction. <https://doi.org/10.1111/add.14767>.
- [10] Ort, C.; van Nuijs, A.L.N.; Berset, J.D.; Bijlsma, L.; Castiglioni, S.; Covaci, A.; de Voogt, P.; Emke, E.; Fatta-Kassinos, D.; Griffiths, P.; Hernández, F.; González-Mariño, I.; Grabic, R.; Kasprzyk-Hordern, B.; Mastroianni, N.; Meierjohann, A.; Nefau, T.; Östman, M.; Pico, Y.; Racamonde, I.; Reid, M.; Slobodnik, J.; Terzic, S.; Thomaidis, N.; Thomas, K.V. (2014). Spatial differences and temporal changes in illicit drug use in Europe quantified by wastewater analysis. Addiction, núm. 109, págs. 1.338-1.352. <https://doi.org/10.1111/add.12570>.
- [11] Rousis, N.I.; Zuccato, E.; Castiglioni, S. (2017). Wastewater-based epidemiology to assess human exposure to pyrethroid pesticides. Environ. Int. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.11.020>.
- [12] Ryu, Y.; Gracia-Lor, E.; Bade, R.; Baz-Lomba, J.A.; Bramness, J.G.; Castiglioni, S.; Castrignanò, E.; Causanilles, A.; Covaci, A.; De Voogt, P.; Hernandez, F.; Kasprzyk-Hordern, B.; Kinyua, J.; McCall, A.K.; Ort, C.; Plósz, B.G.; Ramin, P.; Rousis, N.I.; Reid, M.J.; Thomas, K.V. (2016). Increased levels of the oxidative stress biomarker 8-iso-prostaglandin F2 in wastewater associated with tobacco use. Sci. Rep. <https://doi.org/10.1038/srep39055>.
- [13] Senta, I.; Gracia-Lor, E.; Borsotti, A.; Zuccato, E.; Castiglioni, S. (2015). Wastewater analysis to monitor use of caffeine and nicotine and evaluation of their metabolites as biomarkers for population size assessment. Water Res., núm. 74, págs. 23-33.
- [14] Thomaidis, N.S.; Gago-Ferrero, P.; Ort, C.; Maragou, N.C.; Alygizakis, N.A.; Borova, V.L.; Dasenaki, M.E. (2016). Reflection of socioeconomic changes in wastewater: licit and illicit drug use patterns. Environ. Sci. Technol., núm. 50, págs. 10.065-10.072. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b02417>.
- [15] Van Nuijs, A.L.N.; Covaci, A.; Beyers, H.; Bervoets, L.; Blust, R.; Verpoeten, G.; Neels, H.; Jorens, P.G. (2015). Do concentrations of pharmaceuticals in sewage reflect prescription figures? Environ. Sci. Pollut. Res. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-4066-2>.
- [16] Fernandez-Cassi, X.; Timoneda, N.; Martínez-Puchol, S.; Rusiñol, M.; Rodríguez-Manzano, J.; Figuerola, N.; Bofill-Mas, S.; Abril, J.F.; Girones, R. (2018). Metagenomics for the study of viruses in urban sewage as a tool for public health surveillance. Sci. Total Environ. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.249>.
- [17] Wurtzer, S.; Marechal, V.; Mouchel, J.M.; Moulin, L. (2020). Time course quantitative detection of SARS-CoV-2 in Parisian wastewaters correlates with COVID-19 confirmed cases. doi.org/10.1101/2020.04.12.20062679. COVID-19 SARS-CoV-2 preprints from medRxiv and bioRxiv.
- [18] Ahmed, W.; Angel, N.; Edson, J.; Bibby, K.; Bivins, A.; O'Brien, J.W.; Choi, P.M.; Kitajima, M.; Simpson, S.L.; Lic, J.; Tschärke, B.; Verhagen, R.; Smith, W.; Zaugg, J.; Dierans, L.; Hugenholtz, P.; Thomas, K.V.; Mueller, J.F. (2020). First confirmed detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewater in Australia: A proof of concept for the wastewater surveillance of COVID-19 in the community. Science of The Total Environment, available online 18 April 2020, 138764. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138764.
- [19] Medema, G.; Heijnen, L.; Elsinga, G.; Italiaander, R.; Brouwer, A. (2020). Presence of SARS Coronavirus-2 in sewage. medRxiv. 1 janv 2020;2020.03.29.20045880.
- [20] Nature News (2020). How sewage could reveal true scale of coronavirus outbreak. Nature, núm. 580, págs. 176-177. doi: 10.1038/d41586-020-00973-x.