



industriales
etsii

Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Análisis de parámetros seleccionados en aguas para el seguimiento de la crisis del COVID-19

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL Y PROCESOS
SOSTENIBLES

Autor: **María García Aznar**
Director: **José Luis Serrano Martínez**



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Cartagena, 2 de Diciembre de 2020

Agradecimientos

A mi director de Trabajo Fin de Máster, D. José Luis Serrano Martínez, por su apoyo, dedicación e implicación en este proyecto y en todos los años que me ha dado clase.

A mis padres, León y Carmen, por estar siempre a mi lado, por haberme apoyado en cualquier decisión, porque el mejor ejemplo a seguir siempre lo he tenido en casa. A mi hermano Pablo, por ayudarme, apoyarme y estar siempre a mi lado.

A Pedro, que aguanta mis momentos de estrés y mis dramas, que es mi apoyo fundamental. Gracias por estar siempre, aunque creo que un gracias se queda corto.

A mis abuelos, que después de un año tan difícil, los principales agradecimientos deben de ser para ellos. Gracias por haberme cuidado siempre.

Índice General

| | |
|---|-----------|
| Índice de figuras | 7 |
| Índice de tablas | 9 |
| CAPÍTULO 1: | 11 |
| Introducción | 11 |
| 1.1. RESUMEN Y OBJETIVOS | 13 |
| 1.2. INTRODUCCIÓN | 15 |
| 1.2.1. COVID-19 | 15 |
| 1.2.2. COVID-19 en aguas residuales..... | 19 |
| 1.2.3. La seguridad del agua | 21 |
| 1.2.3.1. Depuración | 21 |
| 1.2.3.2. Potabilización..... | 25 |
| 1.2.4. El uso y consumo del agua como indicador socioeconómico | 28 |
| CAPÍTULO 2: | 31 |
| Discusión de resultados | 31 |
| 2.1. COVID-19 EN AGUAS RESIDUALES..... | 33 |
| 2.1.1. COVID-19 en aguas residuales en España | 33 |
| 2.1.1.1. Introducción | 33 |
| 2.1.1.2. Región de Murcia..... | 34 |
| 2.1.1.3. España..... | 36 |
| 2.1.2. COVID-19 en aguas residuales en Europa | 46 |
| 2.1.2.1. Países Bajos | 46 |
| 2.1.2.2. Francia | 47 |
| 2.1.2.3. Italia | 48 |
| 2.2. DESINFECCIÓN DE AGUAS | 50 |
| 2.2.1. Contaminación por desinfectantes | 50 |
| 2.2.2. Eliminación del COVID-19 con los métodos de desinfección actuales..... | 51 |
| 2.3. CONSUMOS DE AGUA..... | 54 |
| 2.3.1. Consumos de agua en España | 54 |
| 2.3.2. Consumos de agua en Europa | 57 |
| CAPÍTULO 3: | 59 |
| Conclusiones | 59 |
| Referencias | 63 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. SARS-CoV2. Fuente: ISGlobal, 2020..... | 15 |
| Figura 2. Principal mecanismo de transmisión de coronavirus. Fuente: ISCIII ¹² , 2020..... | 18 |
| Figura 3. Permanencia del virus sobre superficies. Fuente: ISCIII ¹² , 2020..... | 18 |
| Figura 4. Coronavirus en sistemas de agua y saneamiento: destino, ocurrencia, métodos de inactivación. Fuente: Royal Society of Chemistry ²⁴ , 2020..... | 20 |
| Figura 5. Desarenador. Fuente: Structuralia..... | 22 |
| Figura 6. Tratamiento físico-químico. Fuente: Degrémont..... | 22 |
| Figura 7. Decantador primario. Fuente: Depuranatura..... | 22 |
| Figura 8. Reactor biológico y decantador secundario. Fuente: Condorchem Envitech..... | 23 |
| Figura 9. Desinfección UV. Fuente: EmerGea..... | 23 |
| Figura 10. Espesador de fangos. Fuente: El agua potable..... | 24 |
| Figura 11. Digestor. Fuente: Slideshare, 2014..... | 24 |
| Figura 12. Deshidratador de fangos. Fuente: Aguas industriales, 2018..... | 24 |
| Figura 13. Esquema del proceso de una EDAR. Fuente: MITECO..... | 25 |
| Figura 14. Filtración. Fuente: Aristegui Maquinaria..... | 26 |
| Figura 15. Coagulación-floculación y decantación. Fuente: sswm..... | 26 |
| Figura 16. Filtración. Fuente: El Agua Potable ³² | 26 |
| Figura 17. Desinfección. Fuente: Consorcio del agua Plan Écija..... | 27 |
| Figura 18. Proceso de potabilización del agua. Fuente: AreaCiencias..... | 27 |
| Figura 19. Consumo de agua por parte de la industria y los hogares. Fuente: Eurostat ⁴¹ , 2017. | 28 |
| Figura 20. Consumo de agua procedente del suministro público. Fuente: Eurostat ⁴¹ , 2007-2017. | 29 |
| Figura 21. Comparativa del consumo de agua doméstico. Fuente: Eurostat ⁴¹ . Elaboración propia..... | 30 |
| Figura 22. Esquema sobre cómo se realiza el seguimiento del COVID-19. Fuente: Water Research ¹⁵ , 2020..... | 34 |
| Figura 23. Mapas del lugar de muestreo. Fuente: Water Research ⁴⁴ , 2020..... | 34 |
| Figura 24. Resultados antes del estado de alarma. Fuente: Water Research ⁴⁴ , 2020..... | 35 |
| Figura 25. Vigilancia epidemiológica de COVID-19 por aguas residuales SARS-CoV-2 en seis municipios. Fuente: Water Research ⁴⁴ , 2020..... | 36 |
| Figura 26. Red de vigilancia de material genético del COVID-19. Fuente: MITECO ⁴⁵ , 2020..... | 37 |
| Figura 27. Preparación de la muestra para la detección de COVID-19. Fuente: CSIC ⁵¹ , 2020..... | 40 |
| Figura 28. Procedimiento para la obtención de resultados. Fuente: CSIC ⁵¹ , 2020..... | 40 |
| Figura 29. Resultados SARS-CoV-2 en zonas de baño. Fuente: MITECO ⁵² , 2020..... | 41 |
| Figura 30. SARS-CoV-2 por semana en EDAR. Fuente: MITECO ⁵² , 2020..... | 42 |
| Figura 31. Seguimiento variación EDAR a la entrada por semanas. Fuente: MITECO ⁵² , 2020..... | 42 |
| Figura 32. Correlación entre el número de nuevos casos de pacientes de COVID-19 y cantidad de RNA detectado de SARS-CoV-2 en las EDAR por semana. Fuente: MITECO ⁵² , 2020..... | 43 |
| Figura 33. Histórico de tendencias de muestreos en entrada de EDAR. Evolución respecto a la semana anterior (1). Fuente: MITECO ⁵³ , 2020..... | 44 |
| Figura 34. Histórico de tendencias de muestreos en entrada de EDAR. Evolución respecto a la semana anterior (2). Fuente: MITECO ⁵³ , 2020..... | 44 |
| Figura 35. Número medio de partículas de virus en un mililitro de aguas residuales. Fuente: Rijksoverheid ⁴² , 2020..... | 47 |

| | |
|---|----|
| Figura 36. Correlación entre el número de nuevos casos de pacientes de COVID-19 y cantidad de RNA detectado de SARS-CoV-2 en las aguas residuales. Fuente: One Healt ⁵⁵ , 2020. | 47 |
| Figura 37. Resultados de la detección de SARS-CoV-2 en el estudio. Fuente: Science of The Total Environment ⁵⁶ , 2020. | 48 |
| Figura 38. Mensaje enviado sobre verter lejías. Fuente: Maldita Ciencia ⁶ , 2020..... | 50 |
| Figura 39. Localidades según procedencia de las analíticas. Fuente: Aguas de Murcia ⁶¹ , 2020. . | 52 |
| Figura 40. Comparativa consumos de agua 2019-2020. Fuente: Ayuntamiento de Barcelona ⁶² . Elaboración propia..... | 55 |
| Figura 41. Demanda medida en la ciudad de Karlsruhe para cuatro martes consecutivos del mes de marzo..... | 57 |
| Figura 42. Comparativa de la demanda de agua entre el primer y último martes de marzo..... | 58 |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Prevalencia de factores de riesgo en población general y casos de COVID-19 en España. Fuente: Ministerio de Sanidad ¹⁰ . agosto, 2020..... | 16 |
| Tabla 2. Estaciones depuradoras en las que se realizará el muestreo. Fuente: MITECO , 2020. . | 38 |
| Tabla 3. Zonas de baño en las que se realizará el muestreo. Fuente: MITECO, 2020. | 39 |
| Tabla 4. Laboratorios que participan en el proyecto. Fuente: MITECO, 2020. | 39 |
| Tabla 5. Concentración de cloro libre residual. Fuente: Aguas de Murcia ⁶¹ . Elaboración propia. | 52 |
| Tabla 6. Consumos de agua año 2019. Fuente: Ayuntamiento de Barcelona ⁶² . Elaboración propia..... | 54 |
| Tabla 7. Consumos de agua año 2020. Fuente: Ayuntamiento de Barcelona ⁶² . Elaboración propia..... | 55 |

CAPÍTULO 1:

Introducción

1.1. RESUMEN Y OBJETIVOS

A finales de mayo de 2020 estaba finalizando el Máster de Ingeniería Ambiental y Procesos Sostenibles, y las circunstancias impuestas por el confinamiento en cuanto a restricciones de movilidad y acceso a instalaciones imponían condicionantes importantes a la realización del Trabajo Fin de Estudios. Dado mi interés en temas de depuración de aguas, se planteó la posibilidad de realizar el presente Trabajo Fin de Estudios relacionando los conocimientos del Máster y la presencia del virus COVID-19 en distintas etapas del ciclo del agua urbana, así como la respuesta que la comunidad científica estaba dando a una serie de interrogantes y rumores que circulaban desde el mes de marzo.

Así, en su editorial del 18 de marzo, la revista *Environmental Science Water Research & Technology*¹ planteaba las principales cuestiones que debían abordarse: ¿entra el coronavirus al ciclo del agua urbana?, si es así ¿es infeccioso?, ¿cómo se puede minimizar su presencia? ¿hacia dónde se debe enfocar la investigación para colaborar en la lucha contra la pandemia?

Puesto que en la sociedad existía preocupación por la posible detección y propagación del virus en las aguas residuales o la contaminación del agua potable, tras una primera búsqueda nos planteamos centrar el TFE en los siguientes aspectos:

- El muestreo de las aguas residuales como marcador para el seguimiento del COVID-19. Varios artículos han afirmado que si se realiza un análisis de las aguas de entrada de las depuradoras se puede llevar un control de cómo evoluciona el virus en cada municipio. Esto se debe a que, en efecto, el virus está presente en las aguas residuales tal como se publicó en los medios de comunicación generando cierta alarma en la población: *“La investigación sobre el coronavirus en la depuradora de A Coruña confirma la presencia de restos del virus en las aguas residuales”*² y *“Detectan material genético del Covid-19 en aguas residuales”*³.
- Otro de los temas relacionados que se consideró de importancia en el presente Trabajo Fin de Estudios era la depuración de las aguas. Concretamente, según lo encontrado en varios artículos, en la sociedad existía preocupación sobre si los métodos utilizados en las plantas de depuración y potabilización eliminaban el virus en el ciclo del agua, o por el contrario era posible contagiarse por beberla o bañarse/ ducharse. Esta inquietud en los primeros meses de confinamiento en España se puede observar en los artículos de divulgación y prensa: *“¿Eliminan los métodos actuales el coronavirus del ciclo del agua?”*⁴ y *“Qué sabemos sobre si el coronavirus puede sobrevivir en el agua y si podrías contagiarte por beberla o bañarte en ella”*⁵.
- Otro aspecto controvertido era la hipotética contaminación de las aguas por el vertido masivo de lejías y desinfectantes por parte de los habitantes de las ciudades. Al parecer fueron muchas las personas que vertieron lejías por el inodoro, bañera o ducha después de su uso, con el fin de evitar posibles contagios a través de las aguas residuales.

Esta práctica fue recomendada en algunos medios de comunicación, ante la sobreinformación, en muchos casos errónea, que se originó como consecuencia del miedo al contagio. Esto fue desmentido posteriormente por otros artículos como: *“Por qué no se debe echar lejía por el inodoro para evitar la expansión del coronavirus: no sirve de nada y es peligroso para el medio ambiente”*⁶ y *“El coronavirus no se multiplica en aguas residuales y echar lejía por las canalizaciones afectaría a las investigaciones científicas”*⁷. Además, fue considerado por la Sociedad Española de Microbiología como un *“atentado medioambiental”* puesto que el agua que llega a los hogares ya ha sido previamente tratada para eliminar el virus y otros microorganismos patógenos que se pueden encontrar en ella. Además, esto podría afectar al proceso biológico en el que se basan las depuradoras y también dificultar las investigaciones que se estaban realizando para tener un seguimiento del ARN del virus en las aguas residuales.

- Otro tema que llamó nuestra atención fue la posibilidad de emplear datos de consumo de agua doméstico para evaluar cómo afectaron en ellos las medias de confinamiento, como apuntaban algunos artículos de prensa: *“El confinamiento y la prevención del COVID-19 aumentan el consumo de agua en los hogares”*⁸ y *“El consumo de agua, indicador de que se cumple el confinamiento en Valencia”*⁹. Esto se identificó como un buen marcador de que la población estaba cumpliendo el confinamiento, y, por ello, en el presente Trabajo Fin de Estudios se ha estudiado su evolución, antes, durante y después del confinamiento del mes de marzo de 2020. Asimismo, se consideró interesante realizar una investigación sobre qué había sucedido a nivel europeo.

Por lo tanto, una vez definidos los aspectos que son relevantes para el presente Trabajo Fin de Estudios se proponen los siguientes objetivos:

- Verificar que el rastreo del ARN del virus en las aguas residuales sirve como un sistema de detección temprana ante un nuevo brote.
- Determinar si Europa ha utilizado algún sistema de rastreo del virus en las aguas residuales.
- Comprobar si los métodos de depuración actuales eliminan el COVID-19 y determinar, por tanto, si existe riesgo de que el virus se propague en el agua potable.
- Comprobar si se produjo un aumento en el consumo de agua durante el confinamiento tanto en España como en Europa, y estimar si es un indicador válido en el futuro.

1.2. INTRODUCCIÓN

1.2.1. COVID-19

El COVID-19 (Coronavirus Infection Disease 2019), es una enfermedad respiratoria aguda en la que el agente patógeno responsable es el coronavirus 2¹⁰. Este virus se encuentra dentro de la familia de los coronavirus, los cuales se denominan así porque tienen unos picos sobre la superficie del virus que recuerdan a una corona.

Este virus fue detectado a finales del año 2019 en Wuhan (China) debido a un brote de neumonía. Entre las diversas afecciones que puede tener se encuentra desde un resfriado común hasta enfermedades respiratorias más graves como neumonía, el Síndrome Respiratorio del Medio Oriente (MERS-CoV) o el Síndrome Respiratorio Agudo Severo (SARS-CoV). La enfermedad se ha ido propagando por otros continentes como Asia, Europa o América, debido a esto, en marzo de 2020 la Organización Mundial de la Salud (OMS) declaró el brote ocurrido como una pandemia mundial¹⁰.

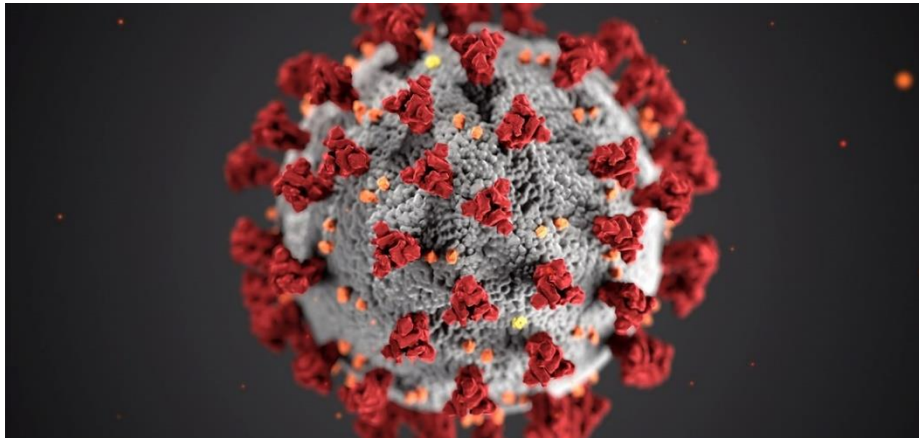


Figura 1. SARS-CoV2. Fuente: ISGlobal, 2020

Los síntomas de este virus se manifiestan entre los días 2 y 14 desde que la persona se expone a este y pueden variar en gran forma. Los principales síntomas que tiene el virus son problemas respiratorios, fiebre, tos, pérdida del gusto y pérdida del olfato. Además de otros síntomas como falta de aire, dolores musculares, escalofríos y dolor de garganta o de cabeza¹⁰.

Como ya se ha comentado, los anteriores síntomas son los más comunes, pero existen otros que ocurren con menor frecuencia como vómitos, náuseas, diarrea y erupción en la piel. Estos síntomas afectan tanto a niños como a personas mayores y en algunos de ellos pueden ser leves o, por el contrario, puede aumentar su gravedad. Se incrementará el riesgo si las personas padecen alguna enfermedad de las siguientes¹¹:

- **Edad avanzada**

Las personas mayores corren más riesgo de enfermarse gravemente con el COVID-19 puesto que, si presentan estos síntomas, la peligrosidad de estos es mayor en función de la edad.

- **Enfermedades pulmonares**

Puede existir mayor riesgo si la persona tiene problemas pulmonares debido a que el COVID-19 ataca directamente a este órgano. Por ejemplo, aumentará el riesgo de enfermar con gravedad si se tiene la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) o cáncer de pulmón.

Además, existen otras afecciones que afectan a los pulmones y que son capaces de incrementar la posibilidad de enfermar con gravedad son el asma, la fibrosis quística y la fibrosis pulmonar.

- **Enfermedades cardíacas graves, diabetes y obesidad**

Si una persona tiene obesidad y diabetes se aumenta el riesgo de que contraiga la enfermedad con gravedad puesto que estas enfermedades reducen la eficiencia del sistema inmunitario.

- **Sistema inmunitario debilitado**

En el caso de que la persona tenga el sistema inmunitario debilitado, por haber recibido un trasplante de órganos o tratamientos oncológicos, el sistema inmunitario no puede combatir contra los microorganismos que causan las enfermedades, por lo que, será más fácil que la enfermedad se agrave.

- **Enfermedad renal o hepática crónica**

Al igual que en el caso anterior, si se tiene una enfermedad renal o hepática crónica, el sistema inmunitario se encuentra debilitado, por lo tanto, la posibilidad de contraer la enfermedad con gravedad será mayor.

En la Tabla 1 se puede observar la relación que existe entre las comorbilidades asociadas al COVID-19 y la prevalencia de las patologías mencionadas anteriormente en la población.

Tabla 1. Prevalencia de factores de riesgo en población general y casos de COVID-19 en España. Fuente: Ministerio de Sanidad¹⁰. agosto, 2020.

| | Prevalencia España (%) | COVID-19 Global (%) | COVID-19 UCI (%) | COVID-19 fallecidos (%) |
|---------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| Enfermedad cardiovascular | 11.06 | 28.5 | 40 | 61 |
| EPOC | 11.17 | 11.6 | 14 | 22 |
| Diabetes mellitus | 9.72 | 17.7 | 28 | 35 |
| HTA | 27.90 | 12.9 | 9.4 | 22 |
| IRC | 9.60 | 2.62 | 1.61 | 4.07 |
| Cáncer | 3.29 | 3.29 | 2.33 | 4.12 |
| Enfermedad neurológica | 1.71 | 1.94 | 1.05 | 4.03 |
| Enfermedad hepática | 0.70 | 0.89 | 0.85 | 0.85 |
| Inmunodepresión | ND | 0.22 | ND | ND |

Como se puede observar en la tabla anterior, la enfermedad cardiovascular y la diabetes mellitus tienen una gran prevalencia en España y la gran mayoría de los fallecidos por COVID-19 sufren alguna de las dos enfermedades. La hipertensión arterial (HTA) es la que tiene una mayor prevalencia en España y, junto con la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), ocupan el tercer lugar en los factores de riesgo que sufren los fallecidos.

Además de los mencionados anteriormente, las enfermedades que predominan entre los fallecidos por COVID-19 son la insuficiencia renal crónica (IRC), el cáncer y la enfermedad neurológica².

TRANSMISIÓN COVID-19

Las principales vías de contagio de coronavirus entre las personas son bastante parecidas a las de las anteriores formas de coronavirus. En un primer momento, se pensaba que las dos vías principales de transmisión de coronavirus eran la respiratoria y la de contacto. La vía de transmisión respiratoria se produce cuando cualquier persona se encuentra en contacto con alguien que tenga síntomas respiratorios, como es el caso de los estornudos o la tos (que pueden transmitirse a distancias de hasta 2 metros)¹².

Actualmente se ha determinado que los aerosoles son la principal vía de contacto del COVID-19. Los aerosoles son pequeñas partículas que tienen un tamaño de menos de 100 micras que se encuentran suspendidas en el aire y que pueden ser aspiradas por los seres humanos puesto que se quedan en el aire durante minutos u horas. Estos aerosoles son generados por las personas mientras hablan, respiran, tosen, etc. Para evitar la transmisión mediante esta vía se deben evitar espacios cerrados, que tengan mucha gente, se debe usar mascarilla y tener una ventilación continuada del espacio¹³.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la principal vía de transmisión, Figura 2, es mediante dos personas que tienen contacto directo (al tocarse diferentes partes de la cara después de tocar superficies contaminadas), indirecto (a través de superficies contaminadas) o cercano por medio de las secreciones bucales que se expulsan por la boca o la nariz cuando la persona que se encuentra infectada tose, estornuda o habla¹⁴.

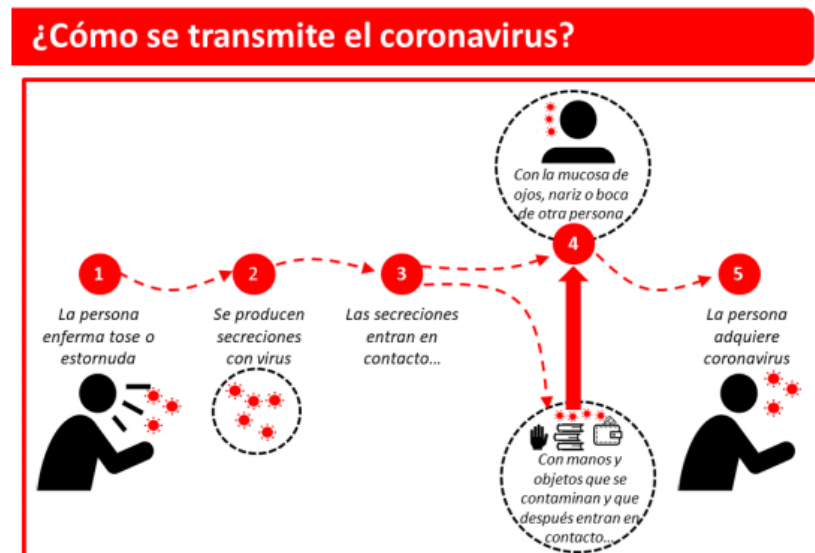


Figura 2. Principal mecanismo de transmisión de coronavirus. Fuente: ISCIII¹², 2020.

Las personas que se encuentran infectadas pueden contagiar a otras unos cuantos días antes de empezar a tener síntomas. La cantidad de virus existente en la faringe y en la nariz parece asociarse a la transmisión del coronavirus. La cantidad de virus tiene un valor más elevado en la primera semana de enfermedad y disminuye a medida que van pasando los días.

Determinados pacientes son asintomáticos, pero éstos también podrían ser contagiosos. Se desconoce la cantidad real de personas que no presentan síntomas en la población, puesto que el valor varía dependiendo del estudio¹².

Se ha determinado que el ARN del virus puede permanecer sobre algunas superficies durante un determinado tiempo, por ejemplo, teléfonos móviles, pomos de puertas y ventanas, cuartos de baño, etc. Los estudios que se han realizado para determinar el tiempo que puede permanecer el virus sobre las distintas superficies especifican que permanece sobre el cobre o cartón unas horas, mientras que sobre las superficies de plástico o acero hasta uno o dos días¹².

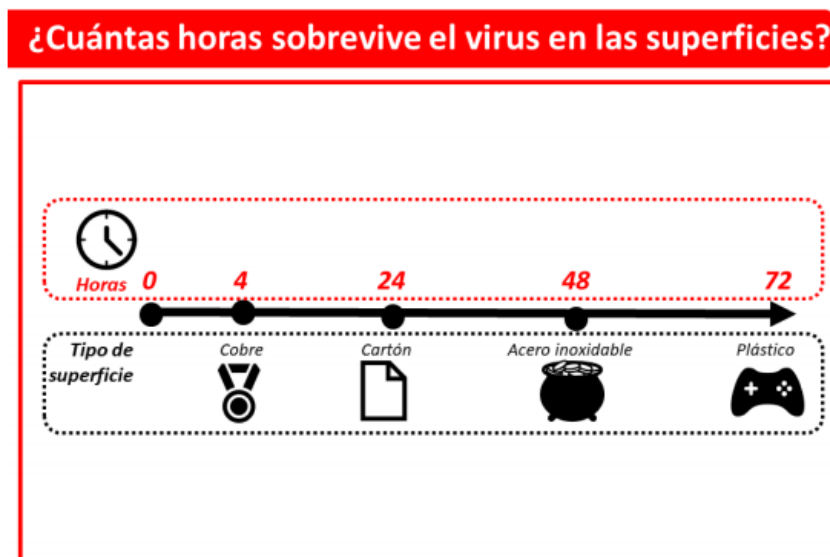


Figura 3. Permanencia del virus sobre superficies. Fuente: ISCIII¹², 2020.

Otra de las vías de transmisión es mediante el contacto con los excrementos de personas que se encuentran infectada del virus. Este riesgo se considera bajo, aunque hay indicios que indican que el virus puede producir vómitos, náuseas e infección intestinal. En una serie de estudios se ha hallado en una gran parte de los pacientes el ARN del virus en heces.

Los estudios de la OMS estiman que la tasa de contagio (R_0) del virus se encuentra entre 1.4 y 2.5. No obstante, otros determinan que es de 2 a 3, es decir, que cada persona infectada puede contagiar entre 2 y 3 personas. Esta tasa de contagio (R_0) debería ser menor que 1 para poder controlar una epidemia¹⁴.

Para ello, la OMS recomienda¹⁴ que para reducir esta tasa de contagio se deben seguir unos buenos hábitos de higiene como:

- Permanecer alejado de las personas contagiadas.
- No tocarse la cara (boca, nariz u ojos).
- Guardar la distancia de seguridad (mínimo una distancia de un metro entre personas).
- Lavarse las manos frecuentemente.
- Quedarse en casa si no se encuentra bien.

1.2.2. COVID-19 en aguas residuales

Según unos estudios^{22,23} realizados después de la epidemia SARS (síndrome agudo respiratorio severo) de 2003, que fue una neumonía causada por un nuevo virus de la familia de los coronavirus, se demostró que existía coronavirus en el ciclo urbano del agua. En dichos estudios esto no se utilizó como marcador para ver cómo evolucionaba el virus. Sin embargo, durante el programa de eliminación de la poliomielitis, enfermedad que afecta al sistema nervioso, esto se utilizó para determinar cómo evolucionaba la enfermedad en la población¹⁵.

La existencia del virus en las aguas residuales se debe a que el virus entra en el ciclo del agua mediante las heces de las personas que están infectadas. Un estudio determina que el SARS-CoV-2 puede permanecer vivo más tiempo en las muestras de heces (de 17 a 31 días) que en las vías respiratorias (de 13 a 29 días)¹⁶.

Son varios los estudios que afirman que se han detectado fragmentos de ARN del virus en la materia fecal de pacientes mientras que han padecido la enfermedad y después de la recuperación^{17,18,19}. Siendo varios de ellos, los que lo detectan hasta varias semanas (entre 1 y 5) después de que las pruebas den el resultado negativo. Lo que aún se desconoce es la cantidad de virus que se puede llegar a excretar por esta vía.

Con los datos científicos que se tiene actualmente se ha determinado que la transmisión fecal-oral es mucho menor que la transmisión por microgotas o a través del contacto con superficies que se han encontrado en contacto con personas que se encuentran infectadas del virus.

Además, con respecto a la presencia del virus en el ciclo urbano del agua, aún no existen evidencias de que se encuentre en el agua superficial o subterránea o se transmita a través del

agua potable. Pero, por el contrario, se afirmó que este virus puede mantener su viabilidad tanto en aguas residuales como en hospitalarias debido a la descarga fecal de pacientes infectados^{20,21}.

Por lo tanto, como se señaló, el virus también se encontraría presente en Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) y ambientes acuáticos debido a que se detectaba material genético del virus en la entrada de las EDAR^{22,23}. Si no se realiza una desinfección adecuada, como se puede observar en la Figura 4, aumentaría la posibilidad de contagio.

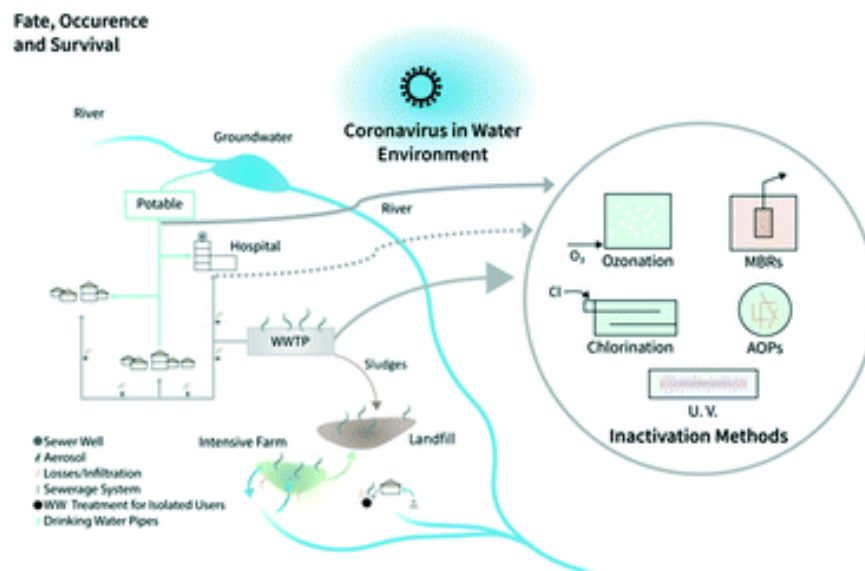


Figura 4. Coronavirus en sistemas de agua y saneamiento: destino, ocurrencia, métodos de inactivación. Fuente: Royal Society of Chemistry²⁴, 2020.

No obstante, es muy escasa la presencia de este virus en la salida de las plantas depuradoras puesto que se detecta muy poco material genético, asimismo no existen evidencias científicas que indiquen que el material genético residual pueda dar lugar a infecciones. Además, el SARS-CoV-2 es un virus que está cubierto con una membrana frágil, y, esto supone que sea menos estable en el medio ambiente y más sensible a los oxidantes, como el cloro²⁴.

Por otro lado, aún no se ha confirmado cuánto tiempo tarda en dejar de ser infeccioso y lo que puede sobrevivir desde el momento en el que se encuentra en las aguas residuales. Es posible que el virus se inactivo más rápido que los virus entéricos humanos no envueltos con transmisión conocida por el agua (por ejemplo: adenovirus, hepatitis A, norovirus y rotavirus)²⁴.

Un estudio²⁵ señaló que el coronavirus pudo sobrevivir sólo 2 días en agua del grifo de clorada y aguas residuales del hospital a 20°C. Sin embargo, otro estudio¹⁶ señala que en el 99,9% de los casos el virus se eliminó entre 2 días hasta 2 semanas a las temperaturas de 23°C y 25°C, respectivamente.

Esta supervivencia del virus depende de varios factores ambientales como: la temperatura (el virus es muy sensible a ella), la cantidad de materia orgánica, la exposición a la luz solar del virus (inactivación solar o UV), el contacto del virus con desinfectantes comunes, y la presencia de bacterias en el medio. Cada uno de estos factores o la combinación de ellos repercuten directamente en el grado de inactivación del virus, aumentándolo²⁵.

El agua infectada por coronavirus es una gran fuente de exposición a los seres humanos de este virus, puesto que permanece activo en las aguas residuales y en aguas potables, si se generan aerosoles. En el brote mencionado anteriormente, de SARS de 2003, se produjo un contagio en un edificio de Hong Kong debido a la fuga de una tubería en la que el virus salió dispersado a partir de las gotas en forma de aerosol²⁵.

Teniendo en cuenta los estudios realizados sobre el contagio de coronavirus a través de aguas residuales, se llega a la conclusión de que la transmisión fecal-oral es mucho menor que el resto de vías de contagio como las microgotas, gotas de saliva o a través del contacto del entorno inmediato como puede ser uso de objetos utilizados por personas infectadas. A pesar de esto, aunque el riesgo es bajo para las personas en su vida cotidiana, si es cierto, que los trabajadores de plantas de depuración o que traten con aguas residuales deben adoptar medidas de seguridad e ir provistos de EPIs para evitar el riesgo de contagio por esta vía²⁵.

El conocimiento de la existencia del coronavirus en las aguas residuales, junto con su supervivencia y eliminación mediante diferentes enfoques de tratamiento, podría ser muy útil para la evaluación y gestión de riesgos²⁶. Es decir, a través de las muestras de aguas residuales se puede obtener una representación sobre cómo afecta el virus dentro de la población, además de ser una herramienta predictiva para tratar esta pandemia¹⁵.

Por lo tanto, puede resultar de interés llevar un seguimiento de cómo evoluciona el virus en las aguas residuales para ver si es un dato representativo de la población afectada.

1.2.3. La seguridad del agua

1.2.3.1. Depuración

Una de las preocupaciones que se presentaban en el presente Trabajo Fin de Estudios era la posibilidad de que el virus se encuentre en las aguas residuales. Para ello, en primer lugar, se va a explicar el tratamiento de depuración al que se someten para evitar esto.

La depuración del agua consiste en eliminar o reducir los contaminantes del agua realizando procesos biológicos, físicos y químicos con el fin de alcanzar las características de calidad necesarias. Esta depuración se realiza en Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) cuyo proceso se compone de las siguientes fases:

- 1. Pretratamiento:** en esta fase se retiran los residuos de gran tamaño que se encuentran en el agua. Esto se puede hacer mediante diferentes procesos: tamizado, desarenado, desengrasado y homogeneización. Un ejemplo de desarenador se puede observar en la Figura 5:

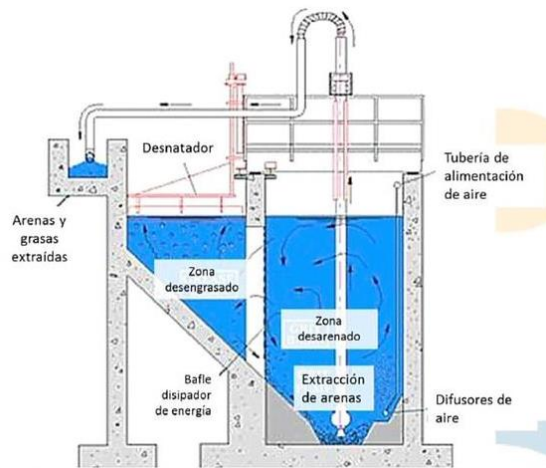


Figura 5. Desarenador. Fuente: Structuralia²⁷.

- 2. Tratamiento físico-químico:** es un proceso complementario de mejora (Figura 6). Se realiza la coagulación-floculación, en este proceso se añade al agua un coagulante para formar flóculos.

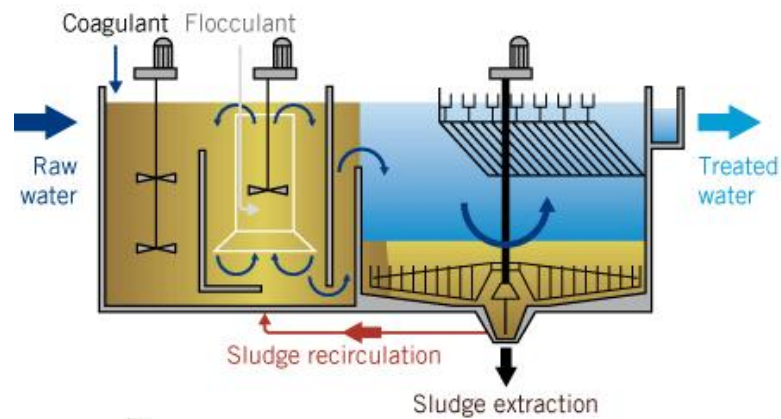


Figura 6. Tratamiento físico-químico. Fuente: Degremont²⁸.

- 3. Decantador primario:** en este decantador sedimentan los fangos primarios. Estos fangos se envían mediante bombeo al espesador de fangos. Un esquema de ello se muestra en la Figura 7.

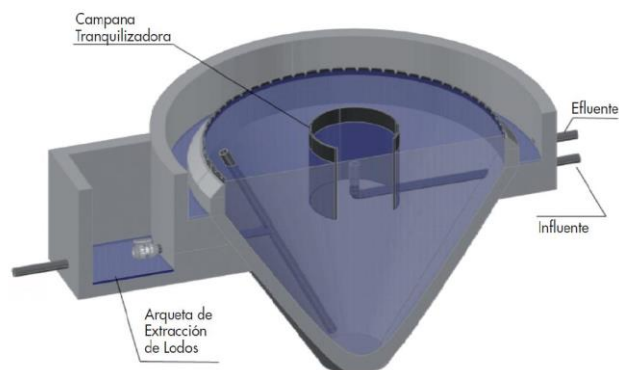


Figura 7. Decantador primario. Fuente: Depuranatura²⁹.

- 4. Reactor biológico:** la depuración continua en unos reactores donde se produce la degradación de la materia orgánica que existe en el agua residual.

5. **Decantador secundario:** en este decantador se produce la separación entre los microorganismos y el agua ya depurada por acción de la gravedad. Los microorganismos que sedimentan en el fondo del decantador, son recogidos y recirculados al reactor biológico. El agua clarificada en la parte superior de los decantadores se envía a la etapa de desinfección. El esquema del reactor biológico y el decantador secundario se observa en la Figura 8:

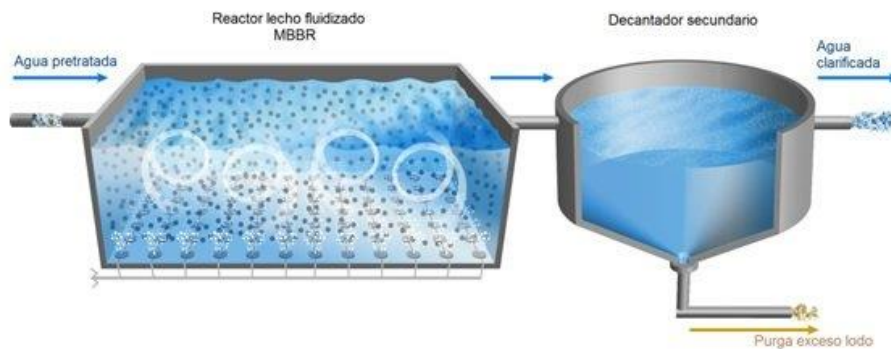


Figura 8. Reactor biológico y decantador secundario. Fuente: Condorchem Envitech³⁰.

6. **Desinfección:** existen varios tipos de desinfección para eliminar cualquier tipo de bacteria, microorganismo o virus. Existen varios métodos para la inactivación de los virus, pero los más eficaces para la eliminación del SARS-CoV-2 son la cloración y la radiación UV (Figura 9). Esto se debe a que en un estudio¹⁶ se ha demostrado que los virus con envoltura, es decir, de la forma del coronavirus se inactivan con ambos métodos.

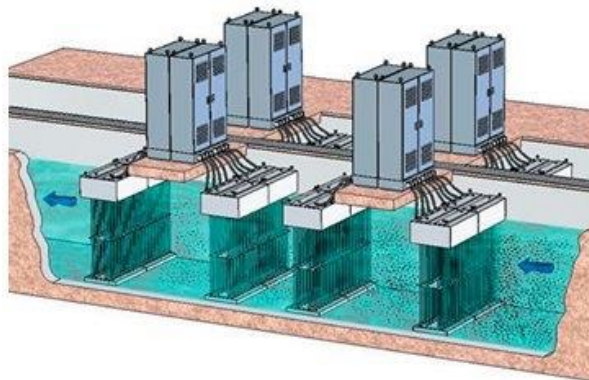


Figura 9. Desinfección UV. Fuente: EmerGea³¹.

7. **Espesamiento de fangos:** (Figura 10) los fangos producidos son extraídos de la línea de agua y sometidos al proceso de espesamiento. Este proceso se realiza con el objetivo de disminuir el volumen de los fangos concentrándolos o eliminándolos parcialmente del agua de arrastre.

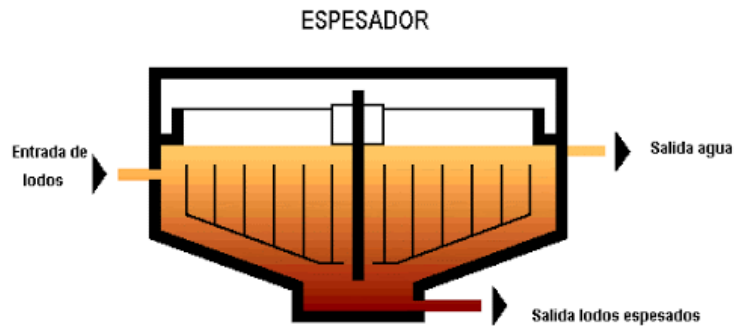


Figura 10. Espesador de fangos. Fuente: El agua potable³².

8. **Digestores:** una vez que los fangos se han espesado, se bombean a los digestores (Figura 11). En estos tiene lugar un proceso biológico en condiciones anaerobias que provoca la generación de biogás.

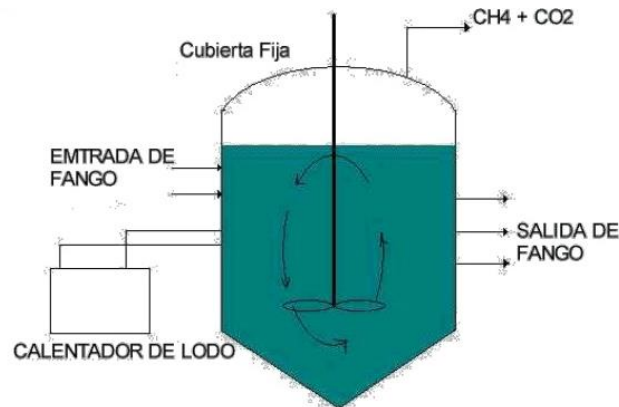


Figura 11. Digestor. Fuente: Slideshare³³, 2014.

9. **Deshidratación de fangos:** en estos equipos se disminuye la cantidad de agua de los fangos para facilitar su eliminación. Este equipo se muestra en la Figura 12:

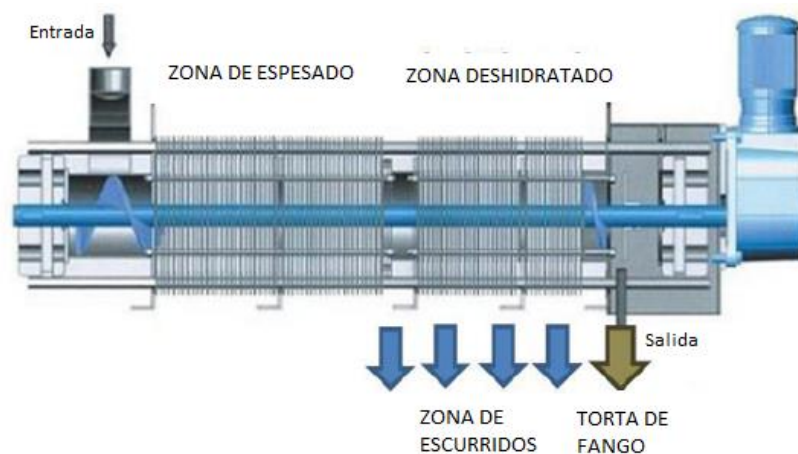


Figura 12. Deshidratador de fangos. Fuente: Aguas industriales³⁴, 2018.

El esquema general de una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) se muestra en la Figura 13, en ella se pueden diferenciar la línea de tratamiento de las aguas residuales y la línea de fangos.

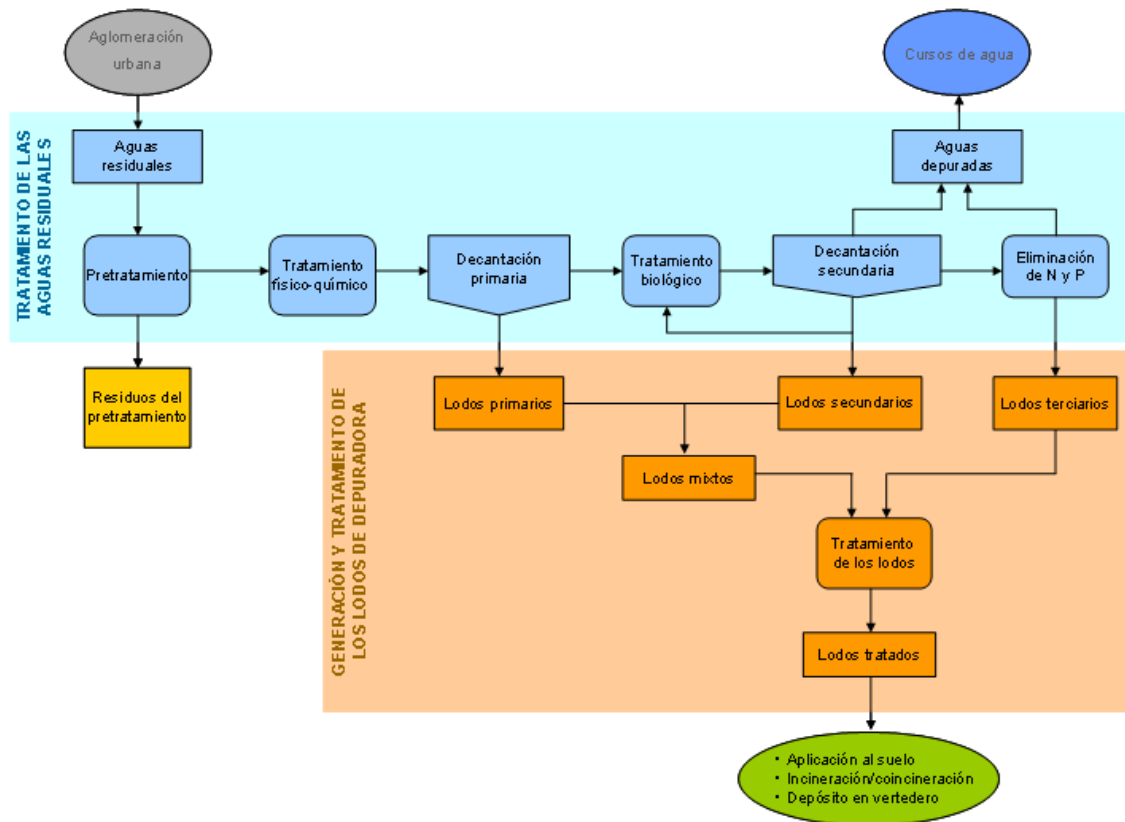


Figura 13. Esquema del proceso de una EDAR. Fuente: MITECO³⁵.

1.2.3.2. Potabilización

Otro de las preocupaciones de la sociedad era si el coronavirus se encontraba en el agua potable. Para ello, se va a explicar la potabilización de las aguas.

La potabilización es el tratamiento que se le realiza al agua para que se pueda consumir sin que suponga un riesgo para la salud de las personas. En este tratamiento al agua bruta, procedente de aguas subterráneas, embalses, lagos o ríos, se le aplican procesos físicos y químicos con el fin de retirar la materia mineral, los contaminantes biológicos y los materiales orgánicos que puedan existir en ella. El lugar donde se realizan estos tratamientos es una Estación de Tratamiento de Agua Potable (ETAP).

En general, una ETAP consta de los siguientes procesos³⁶:

- 1. Pretratamiento del agua:** en esta primera etapa se realiza un tamizado con el objetivo de reducir los sólidos grandes que tenga el agua. Este proceso suele constar de una serie de filtros, en los que irá disminuyendo el tamaño de filtración, de mayor a menor. A continuación, se desarena el agua para evitar que se dañen los posteriores dispositivos, y se realiza una predesinfección para eliminar algunas sustancias orgánicas. El esquema de la filtración se muestra en la Figura 14.

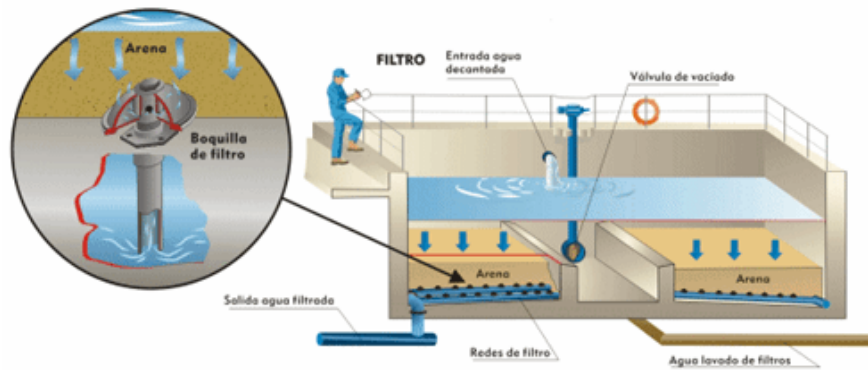


Figura 14. Filtración. Fuente: Aristegui Maquinaria³⁷.

2. **Coagulación-floculación:** el agua entra a una cámara de mezcla en la que se le añade una sustancia para facilitar que se formen flóculos y que posteriormente se hundan en el fondo. Además, en esta fase también se ajusta el pH. Este proceso se puede observar en la Figura 15.
3. **Decantación:** se separan en dos fases por la acción de la gravedad. Las partículas más pesadas se quedan en el fondo del decantador, donde se eliminan. El esquema del proceso de coagulación-floculación y decantación se muestra en la Figura 15:

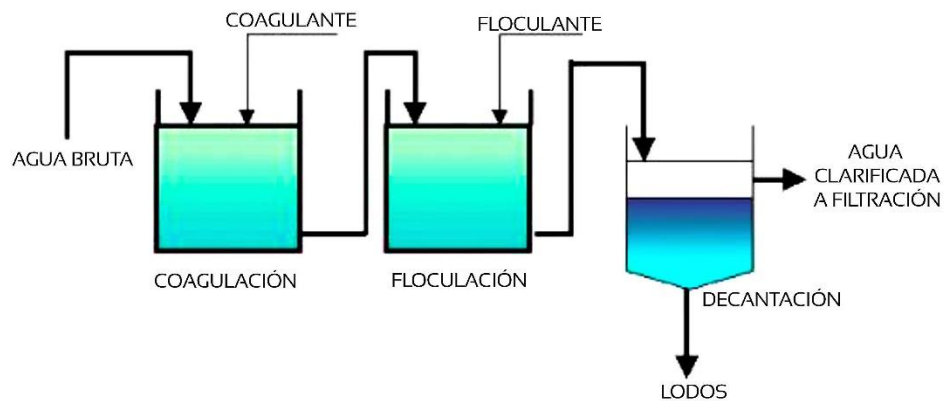


Figura 15. Coagulación-floculación y decantación. Fuente: sswm³⁸.

4. **Filtración:** se filtra el agua para así poder retener los sólidos más pequeños que se encuentren en ella (Figura 16).

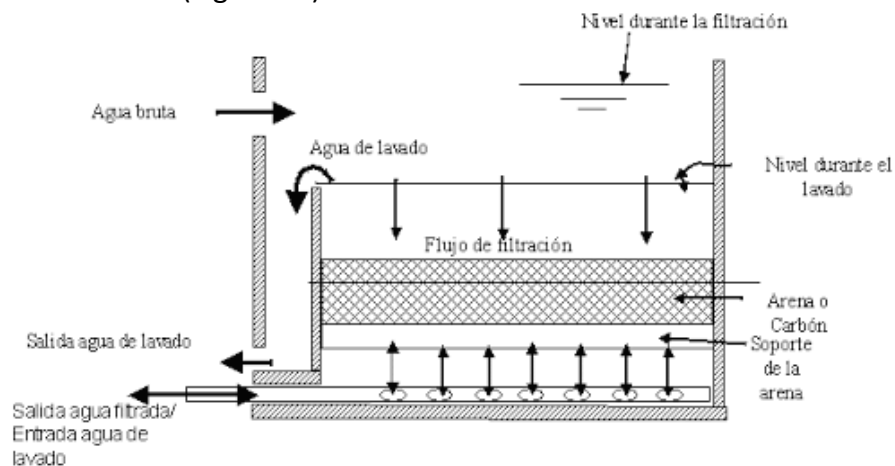


Figura 16. Filtración. Fuente: El Agua Potable³².

5. **Desinfección:** en esta etapa se realiza la desinfección, y para ello, se añade cloro para eliminar cualquier microorganismo, bacteria o virus (Figura 17).



Figura 17. Desinfección. Fuente: Consorcio del agua Plan Écija³⁹.

6. **Almacenamiento y análisis:** el último paso es almacenar el agua para realizar posteriormente su distribución y realizar varios análisis para garantizar la calidad del agua y su consumo.

En la Figura 18 se muestra el esquema de proceso de una Estación de Tratamiento de Agua Potable (ETAP). En ella se pueden observar las diferentes partes explicadas anteriormente.

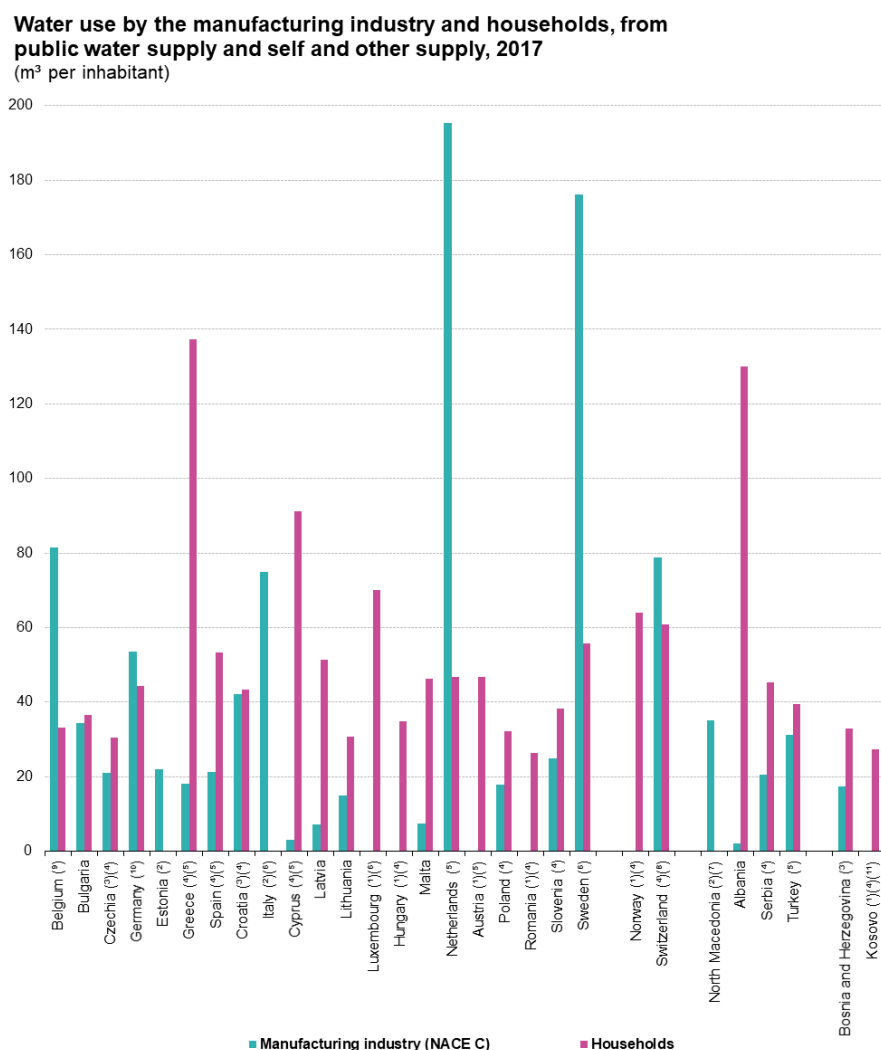


Figura 18. Proceso de potabilización del agua. Fuente: AreaCiencias⁴⁰.

1.2.4. El uso y consumo del agua como indicador socioeconómico

El agua es un recurso muy importante para la vida, indispensable para la economía de un país y que, además, tiene una gran función en el ciclo de regulación del clima. En algunos países del sur de Europa se debe de invertir en mejoras agrícolas en el uso del agua para evitar la falta de agua en las diferentes estaciones.

En la Figura 19 se puede observar el consumo doméstico e industrial de una serie de países en el año 2017. Con esta gráfica, nos podemos hacer una idea de en qué gasta la mayoría de agua cada país⁴¹.



Note: Denmark, Ireland, France, Portugal, Slovakia, Finland and United Kingdom: no data available.

(*) Manufacturing industry - no data available.

(†) Households - no data available.

(††) Manufacturing industry: only self and other water supply.

(†††) Households: only public water supply.

(*) 2016 data.

(†) 2015 data.

(††) 2014 data.

(†††) Manufacturing industry: 2012 data.

(*) Households: 2014 data.

(†) Households: 2016 data.

(††) Households: 2016 data.

(†††) This designation is without prejudice to positions on status, and is in line with UNSCR 1244/1999 and the ICJ Opinion on the Kosovo declaration of independence.

Source: Eurostat (online data codes: env_wat_cat, env_wat_ind and demo_pop)

Figura 19. Consumo de agua por parte de la industria y los hogares. Fuente: Eurostat⁴¹, 2017.

Observando la gráfica anterior, se pueden llegar a diferentes conclusiones. Por ejemplo, en Bélgica, Países Bajos y Suecia la tendencia del uso de agua es principalmente de la industria manufacturera, puesto que el uso del agua en hogares es menor. Esto es un gran indicador de que la industria es una gran fuente de ingresos en estos países. Sin embargo, en Grecia, España y Malta ocurre justo al contrario, el consumo de hogares predomina al industrial. Esto coincide con que son países en los que el sector servicios es una gran fuente de ingresos, y, por ello, el consumo de los hogares supera al de la industria.

En Europa, el uso del agua doméstica es uniforme en comparación con el uso industrial, esto se debe a que la población tiene los mismos hábitos y las mismas necesidades. En cambio, en las industrias no es así, también depende del tipo de industrias y de la cantidad de industrias que haya en cada país.

En la Figura 20 se puede observar el consumo de agua doméstico en diferentes países entre los años 2007 y 2017. El consumo doméstico por habitante es la cantidad de agua de la que dispone una persona para sus necesidades diarias de consumo, aseo, limpieza, riego, etc. Este valor es representativo de las necesidades que tiene un país, es decir, determina de manera indirecta tanto el desarrollo económico como el social de estos.

Household water use from public water supply, 2007-2017
(m³ per inhabitant)

| | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|
| Belgium | 13.9 | 13.7 | 13.6 | | | 31.7 | 32.4 | 33.6 | | | |
| Bulgaria | 36.6 | 36.1 | 36.3 | 35.6 | 36.1 | 37.0 | 35.8 | 34.6 | 35.9 | 36.0 | 36.2 |
| Czechia | 34.1 | 32.4 | 31.9 | 30.9 | 31.0 | 30.8 | 30.2 | 30.1 | 30.2 | 30.5 | 30.7 |
| Denmark | | | | | | | | | | | |
| Germany (*) | | | | 43.7 | 44.4 | 44.2 | 44.0 | 44.4 | 44.7 | 44.7 | 44.3 |
| Estonia | | | | | | | | | | | |
| Ireland | | | | | | | | | | | |
| Greece (†) | 35.8 | | | | 91.8 | 92.1 | 92.8 | 93.4 | 94.0 | 136.8 | |
| Spain | 64.3 | 61.8 | 61.7 | 58.9 | 54.7 | 53.6 | 51.8 | 52.2 | 52.8 | 53.5 | |
| France | | | | | | | | | | | |
| Croatia | | 42.6 | 42.6 | 44.0 | 42.6 | 43.1 | 45.5 | 40.5 | 42.5 | 41.6 | 42.9 |
| Italy | | | | | | | | | | | |
| Cyprus | 94.1 | 76.8 | 85.0 | 96.8 | 93.1 | 88.7 | 90.3 | 90.5 | 94.3 | 103.8 | |
| Latvia | | | | 34.5 | 58.6 | 55.7 | 37.1 | 36.0 | 35.7 | 40.0 | 47.1 |
| Lithuania | | 20.3 | 20.4 | 18.7 | 19.0 | 19.3 | 21.9 | 23.1 | 23.5 | 24.3 | 24.7 |
| Luxembourg | | | | | | | | | 74.9 | | |
| Hungary | | | | 34.1 | 34.0 | 34.4 | 33.4 | 33.0 | 34.0 | 34.1 | 34.8 |
| Malta (*) | 44.6 | 44.4 | 39.9 | 41.3 | 42.0 | 44.1 | 44.0 | 43.6 | 42.7 | 43.3 | 42.7 |
| Netherlands | 48.3 | 48.1 | 47.8 | 47.4 | 46.9 | 46.8 | 46.8 | 46.5 | 47.0 | 47.4 | |
| Austria | | | | 45.6 | | | | | | 43.6 | |
| Poland | 31.5 | 31.8 | 31.3 | 31.5 | 31.6 | 31.5 | 31.3 | 31.5 | 32.5 | 32.6 | 32.2 |
| Portugal | 52.1 | 55.7 | 58.6 | | | | | | | | |
| Romania | | | | | | 30.0 | 29.3 | 24.8 | 25.1 | 25.4 | 26.3 |
| Slovenia | | | | | | 41.3 | 38.2 | 38.1 | 38.1 | 38.0 | 38.2 |
| Slovakia | | | | | | | | | | | |
| Finland | | | | | | | | | | | |
| Sweden | 52.5 | | | | | | | | 50.1 | | |
| United Kingdom | | | | | 46.0 | | | | | | |
| Norway (*) | 77.6 | 77.7 | 77.6 | | | | | | 66.1 | 64.5 | 64.5 |
| Switzerland | 81.9 | 79.3 | 74.4 | 71.9 | 70.3 | 68.4 | 65.9 | 63.4 | 63.9 | 62.1 | |
| North Macedonia | | | | 35.4 | 38.2 | 40.0 | 40.9 | 118.4 | | | |
| Albania | | | | | | | | | | | 98.4 |
| Serbia | 47.9 | 47.2 | 46.4 | 45.2 | 44.1 | 44.8 | 45.1 | 43.2 | 44.6 | 43.4 | 45.0 |
| Turkey | | | | 32.8 | | 34.9 | | 32.6 | | 39.1 | |
| Bosnia and Herzegovina | 28.6 | 29.8 | 30.3 | 30.6 | 29.9 | 30.2 | 28.5 | 28.1 | 28.8 | 29.6 | 30.3 |
| Kosovo (†) | | | | 19.0 | 23.7 | 24.4 | 24.3 | 26.0 | 28.1 | 29.5 | 27.6 |

Note: '-' means 'not available'.

(*) Data for 2011 and 2017: estimated.

(†) 2016: break in series.

(*) Data estimated.

(*) Data for 2007 to 2009: estimated.

(†) This designation is without prejudice to positions on status, and is in line with UNSCR 1244/1999 and the ICJ Opinion on the Kosovo declaration of independence.

Source: Eurostat (online data codes: env_wat_cat and demo_pjan)

Figura 20. Consumo de agua procedente del suministro público. Fuente: Eurostat⁴¹, 2007-2017.

Análisis de parámetros seleccionados en aguas para el seguimiento de la crisis del COVID-19

En la mayoría de los países se observa que los datos se mantienen constantes a lo largo de los años. Sin embargo, para poder tener una mejor comparativa, con estos datos, se ha realizado la gráfica de la Figura 21, en la que se puede ver una comparativa de los datos de consumos de agua doméstica por habitante (en m³) desde el año 2007 al 2017 en diferentes países.

Para la realización de la gráfica se han elegido los países de los que se dispone de un mayor número de datos.

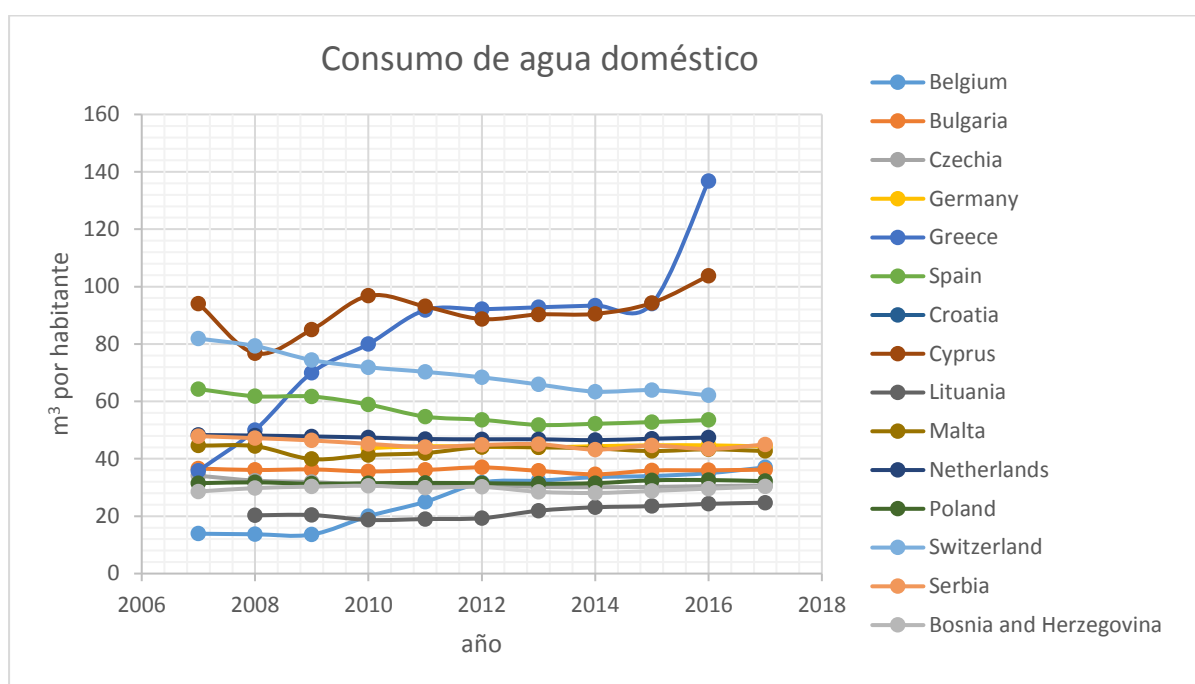


Figura 21. Comparativa del consumo de agua doméstico. Fuente: Eurostat⁴¹. Elaboración propia.

En la gráfica lo primero que se aprecia es un aumento en el consumo de agua doméstica tanto en Grecia, Bélgica y Chipre. En cambio, Lituania y Bosnia-Herzegovina consumen una quinta parte menos que Grecia. El resto de países, se mantienen como en 2007, a excepción de Suiza en la que el consumo de agua ha ido disminuyendo a lo largo de los años.

CAPÍTULO 2:

Discusión de resultados

2.1. COVID-19 EN AGUAS RESIDUALES

2.1.1. COVID-19 en aguas residuales en España

2.1.1.1. Introducción

Como ya se ha comentado anteriormente, por medio de las aguas residuales se puede llevar un control de estas para determinar si en ellas existen restos de material genético del virus. Puesto que, como se ha demostrado en estudios realizados en Delfh⁴² (Holanda) y Murcia⁴⁴ (España), los infectados de COVID-19 excretan el virus.

Un equipo de investigadores de AySA (Agua y Saneamientos Argentinos) propuso desarrollar un test PCR (reacción en cadena de la polimerasa), que permite detectar el fragmento genético del virus, a las aguas residuales para así detectar el rastro del virus en las diferentes zonas de las ciudades⁴³.

Con el fin de que, a medida que se van realizando estas pruebas se pueda conocer cómo va evolucionando el virus en cada zona en la que se lleva a cabo el control. Además, se tendría información de si número de contagiados aumenta o disminuye a medida que va pasando el tiempo, por ello, estos test pueden servir como una alerta temprana ante un nuevo brote^{43,42}.

El AySA comenzó un estudio en el que la metodología consistía en tomar muestras de líquido cloacal de estaciones depuradoras de aguas residuales y del sistema de transporte cloacal mediante el método RT-q-PCR (PCR cuantitativa con transcriptasa reversa). Este método consta de varias etapas, como se explica a continuación^{43,42}:

1. Se cogen muestras de las diferentes partes de la red cloacal y en las EDAR.
2. Estas muestras se concentran para obtener un pellet o aglomerado de material genético.
3. Se extrae el ARN del virus. Este paso se realiza en un gabinete de seguridad nivel II en el que se trabaja de forma segura puesto que permite manipular los materiales contaminados por agentes patógenos, como los virus.
4. Se determina la pureza del ARN del virus y su relación con proteínas, polisacáridos, etc.
5. A la muestra se le realiza el test PCR.

En la Figura 22 se representa un esquema sobre cómo se realiza lo explicado anteriormente. En primer lugar, se obtienen las muestras de aguas residuales, se procesan y se concentran para poder eliminar los datos de microorganismos que existen normalmente en las aguas. A continuación, a partir de las concentraciones de ARN del virus se estima el número de personas infectadas y la velocidad con la que se expande el virus a través de la población. Y, por último, estos datos se combinan con los datos de los casos confirmados y, con ello, se realizan predicciones a escala comunitaria¹⁵.

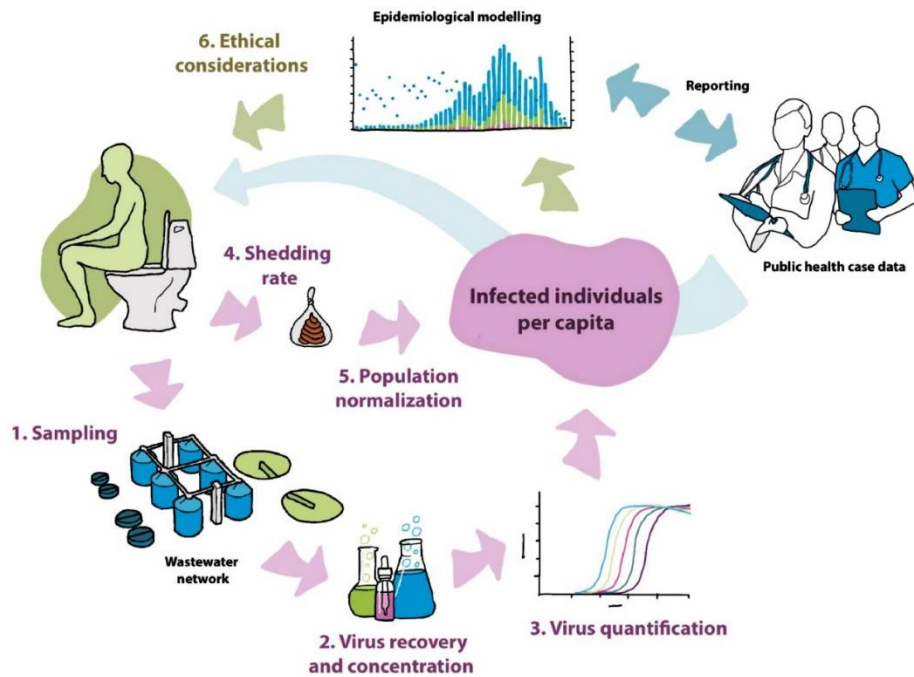


Figura 22. Esquema sobre cómo se realiza el seguimiento del COVID-19. Fuente: Water Research¹⁵, 2020.

2.1.1.2. Región de Murcia

En relación con lo mencionado anteriormente y siguiendo dicha investigación, en abril de 2020, en la Región de Murcia se realizó un estudio⁴⁴ en el que se detectó por primera vez muestras de ARN del SARS-CoV-2 en muestras de aguas residuales sin tratar en España. Como ya se ha comentado, el estudio se realizó en la Región de Murcia en seis plantas de tratamientos de aguas residuales (EDAR) situadas en diferentes municipios de la Región: Cartagena, Cieza, Lorca, Molina de Segura, Murcia y Totana, mostrados en la Figura 23:



Figura 23. Mapas del lugar de muestreo. Fuente: Water Research⁴⁴, 2020.

Las muestras se realizaron del 12 de marzo al 14 de abril y se recogieron un total de 42 muestras de agua de efluente tratada de influente, 18 secundarias y 12 terciarias. De las muestras que se analizaron, se consideraron positivas en las que el ciclo de cuantificación (Ct) se encontraba por debajo de 40. Esto se comprobó analizando las muestras de biobanco recolectadas en octubre de 2019 (antes de que se tuviera conocimiento del primer caso de COVID-19) dando negativo en los tres ensayos de RT-qPCRT, descartando así los falsos positivos.

Según los estudios realizados entre CSIC, CEBAS e IATA se ha determinado que, incluso antes de que se declara el estado de alarma, existía material genético en algunas de las muestras de entrada de planta depuradora. Como se puede observar en la Figura 24, en la mayoría de muestras de aguas recogidas después del tratamiento secundario el resultado fue negativo. Con esto se llega a la conclusión de que los tratamientos que se están aplicando son adecuados y eliminan el virus.

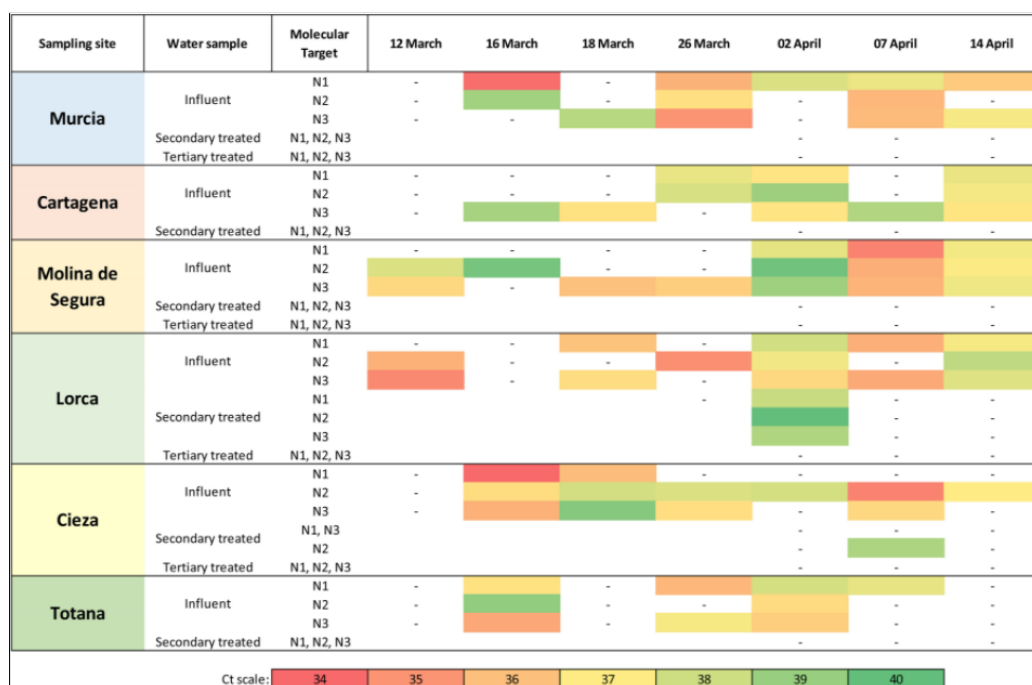


Figura 24. Resultados antes del estado de alarma. Fuente: Water Research⁴⁴, 2020.

En la Figura 25 se muestra una relación entre la prevalencia del virus en cada uno de los seis municipios y la carga del virus en las aguas residuales. Se detectaron restos del ARN del virus cuando se diagnosticaron casos dentro del municipio. Cabe destacar que se detectaron muestras positivas en las aguas residuales en los municipios donde la prevalencia de virus es baja, como en Cartagena, Murcia y Molina de Segura, y, además, en los municipios de Lorca, Cieza y Totana se detectaron restos del ARN del virus entre 12 y 16 días antes de que se manifestaran los primeros casos positivos.

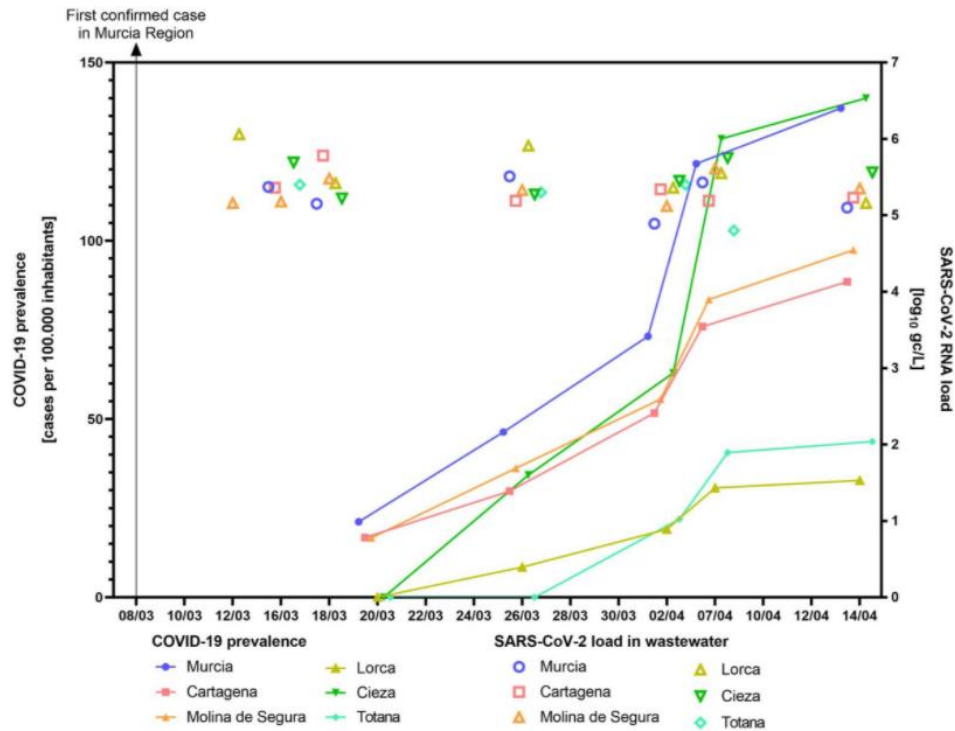


Figura 25. Vigilancia epidemiológica de COVID-19 por aguas residuales SARS-CoV-2 en seis municipios. Fuente: Water Research⁴⁴, 2020.

Con este tipo de estudios se puede detectar la existencia del material genético del SARS-CoV-2 en muestras de agua antes de que se tengan casos de COVID-19 declarados. Esto puede servir para llevar a cabo un control epidemiológico y poder ver la evolución de la pandemia. Estas técnicas moleculares pueden complementar a los análisis que se realicen a nivel poblacional y a nivel clínico, puesto que pueden dar información de zonas concretas. Por ejemplo, si nos fijamos en la IMA en Lorca, Cieza y Totana se detectaron la presencia de material genético del virus en muestras de agua antes de que hubiera casos declarados en estos municipios.

2.1.1.3. España

Por otra parte, como se ha comentado anteriormente, la vigilancia microbiológica en aguas residuales sirve para detectar cómo evoluciona el coronavirus. Por ello, en España, en mayo de 2020, se puso en marcha el desarrollo del proyecto: “Vigilancia microbiológica en aguas residuales y aguas de baño como indicador epidemiológico para un sistema de alerta temprana para la detección de SARS-CoV-2 en España”⁴⁵ que se basa en las investigaciones mencionadas anteriormente¹².

Este proyecto se basa en una red de vigilancia de la concentración del material genético del SARS-CoV-2. Esta vigilancia se va a monitorear en la entrada de 30 estaciones de aguas residuales y 10 zonas de baño repartidas por toda España, como se puede ver en la Figura 26. Además, en esta figura se pueden observar también los laboratorios seleccionados para realizar el análisis de SARS-CoV-2⁴⁶.

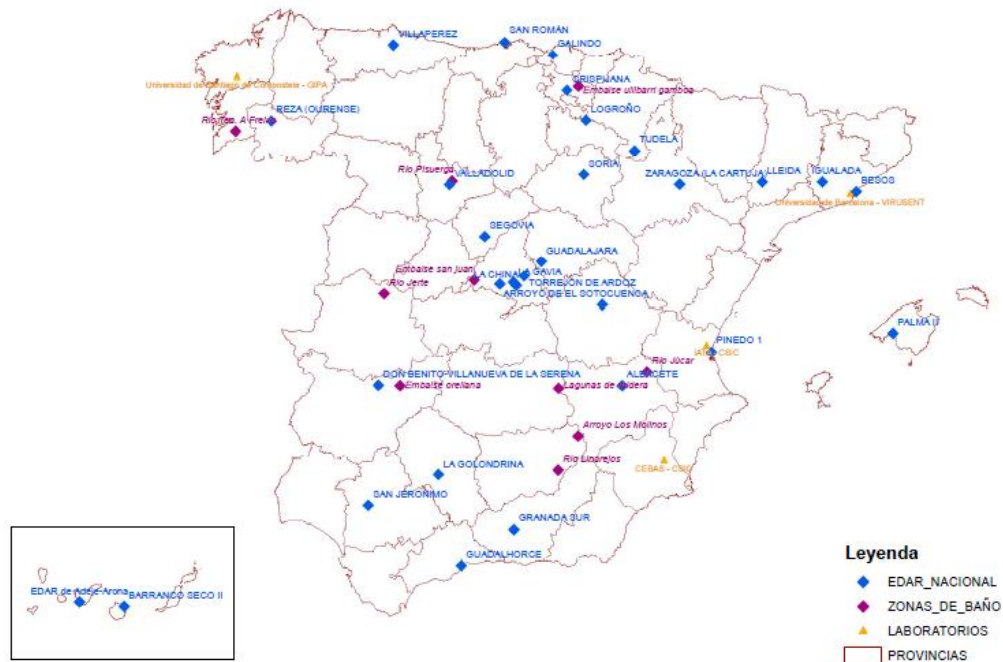


Figura 26. Red de vigilancia de material genético del COVID-19. Fuente: MITECO⁴⁵, 2020.

La selección de las zonas de vigilancia de aguas residuales se ha realizado a través de los criterios determinados por el Ministerio de Sanidad, las Comunidades Autónomas y CEDEX que son los siguientes^{45,46}:

- Distribución geográfica y la relación con otros municipios debido a la movilidad de las personas.
- Incidencia previa del COVID-19, con mayor influencia en poblaciones grandes y con interacciones importantes dentro de ellas.
- Representatividad de diferentes tipos de población.
- Coordinación con los proyectos en ejecución por las Comunidades Autónomas y Entidades Locales.
- Otros criterios como la representatividad geográfica y climatológica.

Por lo tanto, según los criterios mencionados anteriormente, las estaciones depuradoras de aguas residuales elegidas en este proyecto se muestran en la Tabla 2:

Análisis de parámetros seleccionados en aguas para el seguimiento de la crisis del COVID-19

Tabla 2. Estaciones depuradoras en las que se realizará el muestreo. Fuente: MITECO ⁴⁷, 2020.

| COMUNIDAD AUTÓNOMA | EDAR | MUNICIPIO | CÓDIGO DE EDAR |
|--------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|
| ANDALUCÍA | La Golondrina | Córdoba | EDAR_03 |
| | Granada Sur | Granada | EDAR_04 |
| | Guadalhorce | Málaga | EDAR_06 |
| | San Jerónimo | Sevilla | EDAR_10 |
| ARAGÓN | La Cartuja | Zaragoza | EDAR_15 |
| ASTURIAS | Villapérez | Oviedo | EDAR_16 |
| BALEARES | Palma II | Palma de Mayorca | EDAR_17 |
| CANARIAS | Barranco Seco II | Las Palmas de Gran Canaria | EDAR_18 |
| | Adeje-Arona | Tenerife | EDAR_19 |
| CANTABRIA | San Román | Santander | EDAR_20 |
| CASTILLA LA MANCHA | Albacete | Albacete | EDAR_24 |
| | Cuenca | Cuenca | EDAR_29 |
| | Guadalajara | Guadalajara | EDAR_25 |
| CASTILLA Y LEÓN | Segovia | Segovia | EDAR_21 |
| | Soria | Soria | EDAR_22 |
| | Valladolid | Valladolid | EDAR_23 |
| CATALUÑA | Besos | Barcelona | EDAR_26 |
| | Igualada | Igualada | EDAR_27 |
| | Lleida | Lleida | EDAR_28 |
| VALENCIA | Pinedo 1 | Valencia | EDAR_01 |
| EXTREMADURA | Don Benito-Villanueva de la Serena | Don Benito-Villanueva de la Serena | EDAR_02 |
| GALICIA | Reza | Ourense | EDAR_05 |
| LA RIOJA | Logroño | Logroño | EDAR_14 |
| MADRID | Arroyo del Soto | Móstoles | EDAR_30 |
| | La China | Madrid | EDAR_07 |
| | La Gavia | Madrid | EDAR_08 |
| | Torrejón de Ardoz | Madrid | EDAR_09 |
| NAVARRA | Tudela | Tudela | EDAR_11 |
| PAIS VASCO | Crispiana | Vitoria-Gasteiz | EDAR_12 |
| | Galindo | Bilbao | EDAR_13 |

Por otro lado, como se ha comentado anteriormente, también se han seleccionado determinadas zonas de baño en las que se realizará el seguimiento del virus. En total, se han seleccionado 10 zonas de baño, en ellas durante los 3 meses de verano se tomarán 2 muestras al mes.

Para la selección de las zonas de baño se han tenido en cuenta los municipios en los que haya habido gran número de contagios, pero también zonas de baño en las que la calidad de sus aguas se haya podido ver afectada debido al número de usuarios que se bañan en ellas⁴⁹. Además, también se tuvieron en cuenta las características hidromorfológicas y la temperatura de las diferentes zonas y las recomendaciones recogidas en el Informe sobre transmisión del SARS-CoV-

2 en playas y piscinas⁴⁸ del CSIC (Ministerio de Ciencia e Innovación), de 5 de mayo 2020 al objeto de detectar SARS-CoV-2 en agua de ríos y lagos.

En estas zonas de baño se analizará la aparición de material genético SARS-CoV-2 procedente de la contaminación fecal y de la contaminación a través de la población. Las zonas de baño en las que se realizarán los muestreos se muestran en la Tabla 3:

Tabla 3. Zonas de baño en las que se realizará el muestreo. Fuente: MITECO⁴⁹, 2020.

| COMUNIDAD AUTÓNOMA | ZONA DE BAÑO | MUNICIPIO |
|--------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| ANDALUCÍA | Río Linarejos | Cazorla (Jaén) |
| | Arroyo los Molinos | Siles (Jaén) |
| CASTILLA LA MANCHA | Río Júcar | Alcalá de Júcar (Albacete) |
| | Lagunas de Ruidera | Ruidera (Albacete-Ciudad Real) |
| CASTILLA Y LEÓN | Río Pisuerga | Valladolid |
| EXTREMADURA | Embalse de Orellana | Orellana la Vieja (Badajoz) |
| | Río Jerte | Navaconcejo (Pontevedra) |
| GALICIA | Río Tea A.Freixa | Ponteareas (Pontevedra) |
| MADRID | Embalse de San Juan | San Martín de Valdeiglesias (Madrid) |
| PAIS VASCO | Embalse Ullívarri-Gamboa | Elburgo-Burgelu (Álava) |

Con respecto a los métodos para la toma y la concentración de las muestras se han propuesto diferentes métodos puesto que se valora que hay varios factores que pueden influir en las técnicas de detección, por ejemplo, los indicadores de contaminación fecal o el tipo y volumen de la muestra o las técnicas de concentración.

Debido a esto, se ha propuesto que los laboratorios que participan en el proyecto intercambien los datos para así poder comprobar la fortaleza de los métodos. Estos análisis se realizarán en 4 laboratorios situados en diferentes Comunidades Autónomas y participar en la evaluación de los métodos de concentración para el análisis de aguas residuales^{49,50}. Los laboratorios encargados de ello se muestran en la Tabla 4:

Tabla 4. Laboratorios que participan en el proyecto. Fuente: MITECO⁵⁰, 2020.

| LABORATORIO | ORGANISMO |
|--|---|
| Grupo de Virus Entéricos Prof. Dr. Albert Bosch | Dpto. de Microbiología. Facultad de Biología (Universidad de Barcelona) BARCELONA |
| Grupo de Conservación y Seguridad Alimentaria Dra. Gloria Sánchez | Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (IATA-CSIC) VALENCIA |
| Grupo de Calidad, Seguridad y Bioactividad de Alimentos Vegetales Dra. Ana Allende | Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS – CSIC) MURCIA |
| Grupo de Investigación de Patología en Acuicultura (GIPA) Prof. Dr. Jesús L. Romalde | Dpto. de Microbiología y Parasitología. Facultad de Farmacia (Universidad de Santiago de Compostela) SANTIAGO DE COMPOSTELA |

Análisis de parámetros seleccionados en aguas para el seguimiento de la crisis del COVID-19

Como ya se ha comentado anteriormente, existen varias investigaciones sobre cómo determinar si el agua residual contiene o no restos de COVID-19. El Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico propone utilizar el “*Protocolo para la detección de SARS-CoV-2 en aguas residuales. VIARAL-CSIC*”⁵¹ como método estándar en aguas residuales. Este protocolo ha sido desarrollado por CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas), IATA (Instituto de Agroquímica y Tecnología de los Alimentos) y CEBAS (Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura) y establece los procedimientos de muestreo, envío y recepción, así como concentración y extracción de las muestras de aguas residuales. En este informe se recogen también los criterios que se deben de tener en cuenta a la hora de interpretar los resultados y cuantificar las muestras positivas.

En la reunión⁵¹ del 28 de mayo de 2020 del Grupo de Trabajo sobre Vigilancia en aguas de SARS-CoV-2 se determinó que el método de preparación de la muestra para realizar la detección del virus es el que se muestra en la Figura 27:

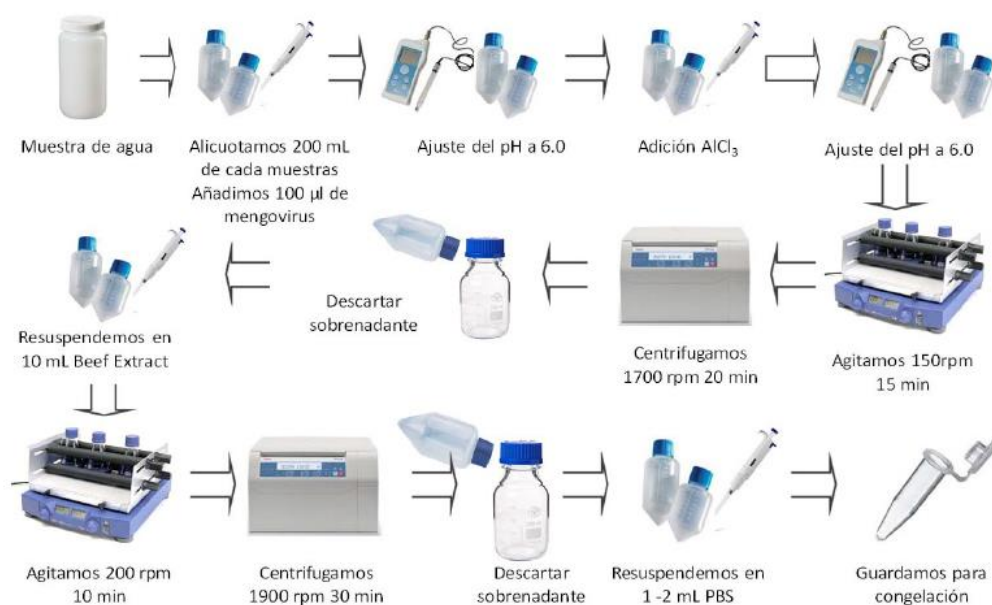


Figura 27. Preparación de la muestra para la detección de COVID-19. Fuente: CSIC⁵¹, 2020.

El proceso consiste en concentrar el virus en las aguas y, para ello, se realiza la floculación de este con AlCl₃ (cloruro de aluminio). Para realizar la concentración de los virus se necesitan llevar a cabo varios pasos de centrifugación y resuspensión y, además, la adición del mengovirus, que es un virus control de proceso que permite saber si el procedimiento de concentración de virus que se está utilizando en las aguas ha funcionado correctamente. Como resultado de esto se obtienen 2 mL de la muestra muy concentrada en la que se recupera toda la parte vírica.

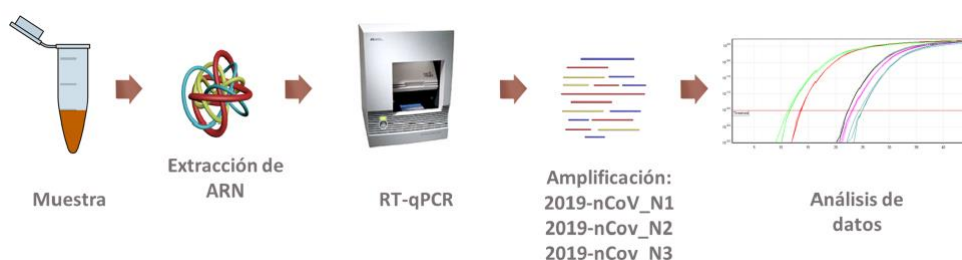


Figura 28. Procedimiento para la obtención de resultados. Fuente: CSIC⁵¹, 2020.

Una vez que se tiene el concentrado mencionado anteriormente, se procede a la realización de la PCR, Figura 28. Para ello, se extrae el ARN y se utiliza un compuesto que elimina todos los posibles inhibidores de la PCR que pueden estar en el concentrado. Por último, se utiliza el test de detección que estipula el CDC (Centro de Enfermedades de Estados Unidos) el cual se centra en tres genes de amplificación y se realizan las tres PCR.

Los primeros resultados recogidos en el informe⁵² de la última reunión del grupo de trabajo del 17 de septiembre de 2020 se muestran a continuación:

En la Figura 29 se observan los resultados obtenidos en las zonas de baño en los análisis de diferentes ciclos. Estos análisis que fueron realizados en los tres meses de verano, es decir, desde el 22 de junio al 24 de agosto y se han separado en 5 ciclos diferentes. Como se puede ver en la figura, dependiendo del ciclo se han tomado diferentes muestras (de 8 a 10). En total, se tomaron 49 muestras, de las cuales se han obtenido que un 96% de las pruebas de los diferentes ciclos han dado como negativo. Sin embargo, en los ciclos 1 y 5, se han encontrado dos presuntos positivos.

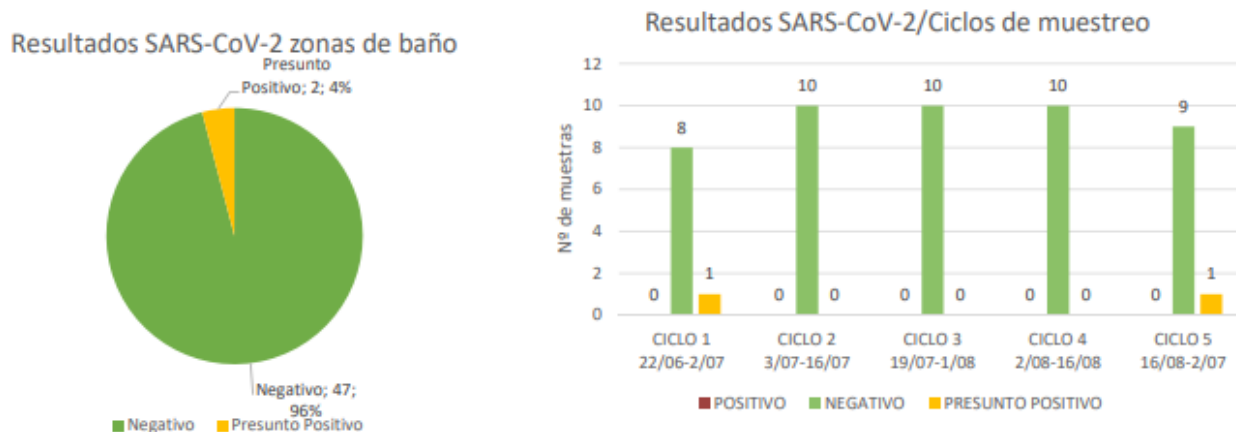


Figura 29. Resultados SARS-CoV-2 en zonas de baño. Fuente: MITECO⁵², 2020.

En el informe también se recogen los resultados de las estaciones depuradoras. Como se puede observar en la Figura 30, en la gráfica se compara el ciclo en el que se toman las muestras (del 12 de julio al 4 de septiembre de 2020) con el número de EDAR (determinado en la Tabla 2) y el resultado del análisis en la entrada de las EDAR.

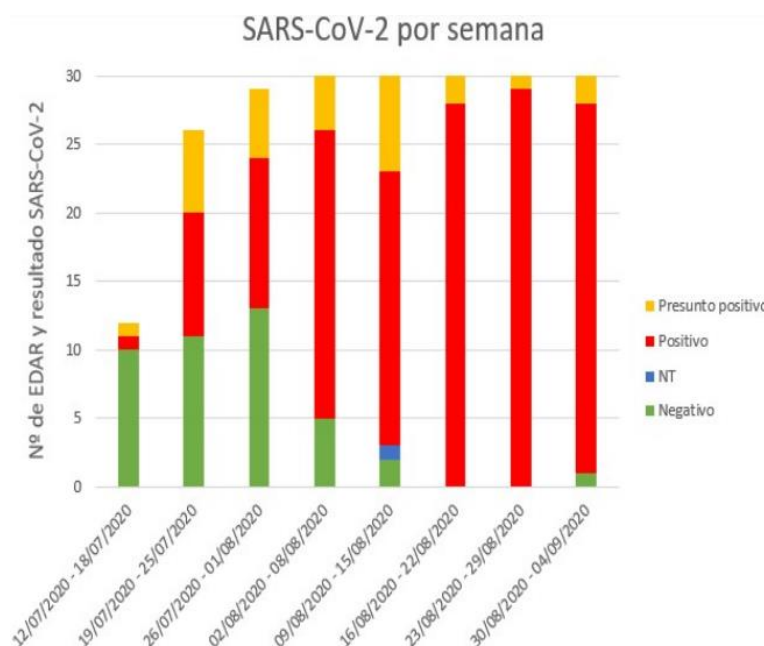


Figura 30. SARS-CoV-2 por semana en EDAR. Fuente: MITECO⁵², 2020.

Al inicio del muestreo en la mitad de las EDAR el resultado de los análisis es negativo, pero, a medida que avanza el tiempo de muestreo (desde agosto a septiembre) los análisis en la mayoría de las EDAR dan como resultado positivo, es decir, que existen restos del ARN del virus en la entrada de las estaciones depuradoras.

En la Figura 31, se puede observar el seguimiento por semanas de cómo varían los resultados en las diferentes EDAR. En la gráfica se compara el ciclo en el que se toman las muestras (del 12 de julio al 4 de septiembre de 2020) con el número de EDAR (determinado en la Tabla 2) y con la variación de los resultados. En esta variación se pueden diferenciar: variación estable (con ligero aumento o ligera disminución), disminución y aumento (pronunciado o moderado).

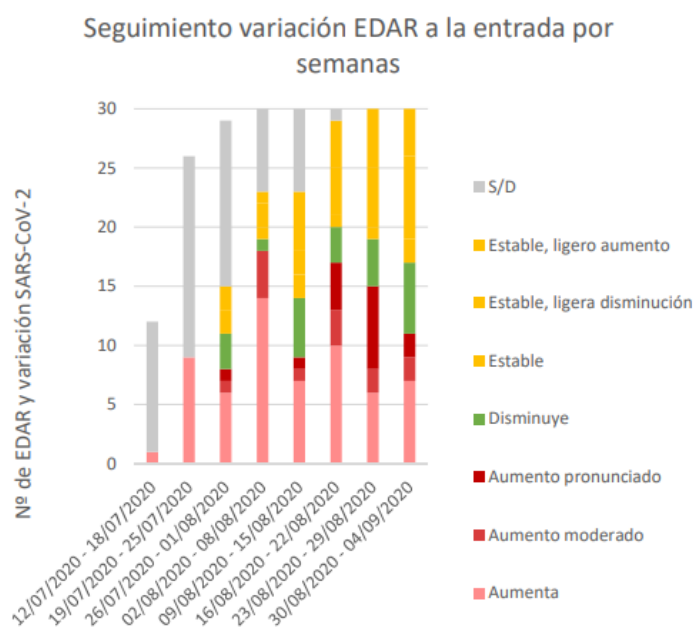


Figura 31. Seguimiento variación EDAR a la entrada por semanas. Fuente: MITECO⁵², 2020.

Como se puede observar, en las EDAR 1 a 10, correspondientes a: Valencia, Extremadura, Andalucía, Galicia y Madrid, se ha producido un aumento en los resultados de los análisis, mientras que en las EDAR 20 a 30, correspondientes a: Cantabria, Castilla y León, Castilla La Mancha y Cataluña, se mantienen estables durante las últimas semanas del análisis. En el resto de EDAR existe variación dependiendo de la semana.

En la Figura 32 se observa la relación entre el número de partículas del virus por litro con los pacientes detectados en las diferentes semanas en las que se realizaron los muestreos. Como se puede observar, existe una relación entre la detección del ARN del virus y el número de casos. La diferencia entre ambas puede ser, que existan pacientes que tienen el virus, pero son asintomáticos, por lo tanto, no contabilizan en los casos diagnosticados por semana.

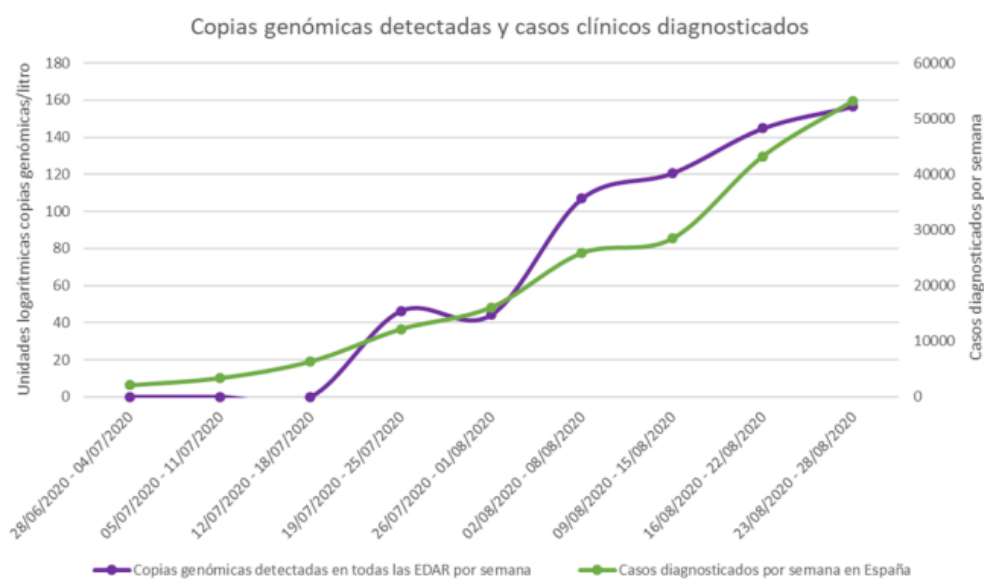


Figura 32. Correlación entre el número de nuevos casos de pacientes de COVID-19 y cantidad de RNA detectado de SARS-CoV-2 en las EDAR por semana. Fuente: MITECO⁵², 2020.

El grupo de trabajo de VATar ha realizado un informe⁵³ sobre cómo ha sido la evolución del virus en las EDAR desde el comienzo del estudio (desde el 12 de julio al 21 de noviembre). Tanto en la Figura 33 como en la Figura 34 se muestra un histórico sobre cómo han evolucionado los muestreos en la entrada de cada una de las EDAR.

Análisis de parámetros seleccionados en aguas para el seguimiento de la crisis del COVID-19

| Código EDAR | EDAR | Municipio | Semana 1 (12/07/20 - 18/07/20) | Semana 2 (19/07/20 - 25/07/20) | Semana 3 (26/07/20 - 01/08/20) | Semana 4 (02/08/20 - 08/08/20) | Semana 5 (09/08/20 - 15/08/20) | Semana 6 (16/08/20 - 22/08/20) | Semana 7 (23/08/20 - 29/08/20) | Semana 8 (30/08/20 - 05/09/20) | Semana 9 (06/09/20 - 12/09/20) | Semana 10 (13/09/20 - 19/09/20) | Semana 11 (20/09/20 - 26/09/20) | Semana 12 (27/09/20 - 03/10/20) | Semana 13 (04/10/20 - 10/10/20) | Semana 14 (11/10/20 - 17/10/20) | Semana 15 (18/10/20 - 24/10/20) | Semana 16 (25/10/20 - 31/10/20) | Semana 17 (01/11/20 - 07/11/20) | Semana 18 (08/11/20 - 14/11/20) | Semana 19 (15/11/20 - 21/11/20) |
|-------------|-----------------------|-------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| EDAR_01 | PINEDO 1 | Valencia | Primera muestra | Estable | Estable | Estable | Estable | Disminución | Estable | Estable | Aumento | Disminución | Aumento significativo | Disminución ² | Estable | Aumento | Aumento | Aumento | Disminución | Aumento | Disminución |
| EDAR_02 | DON BENITO-VVA. DE LA | Don Benito | Primera muestra | Aumento | Aumento | Estable | Estable | Aumento | Disminución significativa | Estable | Estable | Estable | Estable | Disminución ² | Disminución | Estable | Estable | Aumento significativo | Disminución significativa | Aumento | Disminución |
| EDAR_03 | LA GOLONDRINA | Córdoba | Primera muestra | S/D | Aumento | Aumento | Disminución | Aumento significativo | Disminución | Aumento | Estable | Estable | Disminución | Estable | Estable | Estable | Estable | Aumento | Disminución | Aumento | Disminución significativa |
| EDAR_04 | GRANADA SUR | Granada | Primera muestra | S/D | S/D | Aumento | Estable | Aumento | Disminución | Aumento | Estable | Estable | Estable | Estable ² | Aumento significativo | Estable | Disminución significativa | Aumento significativo | Estable | Estable | Estable |
| EDAR_05 | REZA | Orense | Primera muestra | S/D | S/D | S/D | Aumento | Estable | Estable | Estable | Aumento significativo | Estable | Disminución | Estable ² | Aumento | Estable | Estable | Estable | Estable | Disminución | Estable |
| EDAR_06 | GUADALHORCE | Málaga | | | Primera muestra | Estable | Estable | Estable | Estable | Estable | Estable | Disminución significativa | Aumento | Disminución | Estable | Disminución | Estable | Aumento | Estable | Estable | Estable |
| EDAR_07 | LA CHINA | Madrid | Primera muestra | Aumento | S/D | Aumento | Estable | Estable | Estable | Estable | Disminución | Estable | Aumento | Disminución | Disminución | Aumento significativo | Disminución | Estable ² | Estable | Disminución significativa | Aumento |
| EDAR_08 | LA GAVIA | Madrid | Primera muestra | S/D | S/D | Aumento | Aumento | Aumento significativo | Disminución | Disminución | Aumento | Estable | Disminución | Estable | Disminución | Aumento significativo | Estable | Aumento | Disminución | Estable | Disminución |
| EDAR_09 | TORREJÓN DE ARDOZ | Torrejón de Ardoz | Primera muestra | S/D | S/D | Aumento | Estable | Estable | Estable | Estable | Aumento significativo | Disminución | Estable | Estable ² | Estable | Aumento | Estable | Disminución significativa | Aumento | Disminución significativa | Estable |
| EDAR_10 | SAN JERÓNIMO | Sevilla | Primera muestra | S/D | S/D | Aumento | Estable | Estable | Estable | Aumento | Estable | Estable | Estable | Estable | Estable | Estable | Estable | Estable | Aumento | Disminución | Disminución |
| EDAR_11 | TUDELA | Tudela | Primera muestra | Aumento | Aumento | Estable | S/D | Aumento | Estable | Aumento | Estable | Disminución | Disminución | Estable ² | Estable ² | Aumento | Disminución significativa | Aumento significativo | Disminución significativa | Aumento significativo | Disminución |
| EDAR_12 | CRISPIANA | Vitoria | Primera muestra | S/D | S/D | Aumento | Aumento | Estable | Estable | Estable | Aumento | Estable | Estable | Estable | Disminución | Estable | Aumento | Estable | Estable | Disminución | Estable |
| EDAR_13 | GALINDO | Bilbao | Primera muestra | S/D | S/D | Aumento | Estable | Estable | Estable | Estable | Estable | Aumento | Disminución | Estable | Estable | Aumento | Aumento | Estable | S/D | Estable | Estable |
| EDAR_14 | LOGROÑO | Logroño | Primera muestra | S/D | S/D | Aumento | Estable | Aumento | Estable | Estable | Aumento | Disminución | Estable | Estable ² | Estable | Estable | Aumento | Estable | Estable | Disminución | Disminución |
| EDAR_15 | LA CARTUJA | Zaragoza | Primera muestra | Disminución | Estable | Aumento | Estable | Aumento significativo | Estable | Aumento | Aumento | Disminución | Estable | Aumento | Aumento | Disminución | Aumento | Estable | Disminución | Disminución | Estable |
| EDAR_16 | VILLAPÉREZ | Oviedo | Primera muestra | S/D | S/D | Aumento | Aumento significativo | Estable | Estable | Estable | Estable | Aumento significativo | Estable | Disminución ² | Disminución significativa | Aumento | Aumento significativo | Disminución | Estable | Disminución significativa | Aumento ² |

Figura 33. Histórico de tendencias de muestreos en entrada de EDAR. Evolución respecto a la semana anterior (1). Fuente: MITECO⁵³, 2020.

| Código EDAR | EDAR | Municipio | Semana 1 (12/07/20 - 18/07/20) | Semana 2 (19/07/20 - 25/07/20) | Semana 3 (26/07/20 - 01/08/20) | Semana 4 (02/08/20 - 08/08/20) | Semana 5 (09/08/20 - 15/08/20) | Semana 6 (16/08/20 - 22/08/20) | Semana 7 (23/08/20 - 29/08/20) | Semana 8 (30/08/20 - 05/09/20) | Semana 9 (06/09/20 - 12/09/20) | Semana 10 (13/09/20 - 19/09/20) | Semana 11 (20/09/20 - 26/09/20) | Semana 12 (27/09/20 - 03/10/20) | Semana 13 (04/10/20 - 10/10/20) | Semana 14 (11/10/20 - 17/10/20) | Semana 15 (18/10/20 - 24/10/20) | Semana 16 (25/10/20 - 31/10/20) | Semana 17 (01/11/20 - 07/11/20) | Semana 18 (08/11/20 - 14/11/20) | Semana 19 (15/11/20 - 21/11/20) |
|-------------|---------------------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| EDAR_17 | PALMA II | Palma de Mallorca | Primera muestra | Estable | Aumento | Estable | Estable | Aumento | Estable | Estable | Disminución | Disminución | Estable ² | Aumento | Estable | Estable | Estable | Aumento | Estable | Estable | S/D |
| EDAR_18 | BARRANCO SECO II | Las Palmas de Gran | | Primera muestra | Aumento | Aumento | Estable | Aumento significativo | Aumento | Estable | Disminución | Disminución | Estable ² | Disminución | Estable | Estable | Estable | S/D | Aumento | Disminución | Disminución significativa |
| EDAR_19 | ADEJE-ARONA | Adeje | | | Primera muestra | S/D | Aumento | Aumento significativo | Aumento | Estable | S/D | Aumento | Aumento ² | Estable ² | Disminución significativa | Aumento significativo | Estable | Estable | Estable | S/D | Disminución |
| EDAR_20 | SAN ROMÁN | Santander | Primera muestra | S/D | Aumento | Estable | Aumento | Aumento | Disminución | Aumento | Aumento | Disminución | Disminución | Estable | Estable | Aumento significativo | Disminución | Estable | Disminución | Estable | Estable |
| EDAR_21 | SEGOVIA | Segovia | Primera muestra | Aumento significativo | S/D | Aumento | Estable | Disminución | S/D | Aumento | Estable | Estable | Disminución | Estable | Disminución | Estable ² | Estable | Estable | Estable | Estable | Aumento |
| EDAR_22 | SORIA | Soria | Primera muestra | Estable | Aumento | Disminución | Aumento | Aumento | Disminución | Estable | Disminución significativa | Estable | Disminución | Aumento | Estable | Estable | Estable | Estable | Disminución | Estable | Estable |
| EDAR_23 | VALLADOLID | Valladolid | Primera muestra | Aumento | Estable | Estable | Aumento significativo | Estable | Estable | Disminución | Aumento significativo | Disminución significativa | Estable | Aumento significativo | Estable | Aumento | Estable | Disminución | Aumento | Disminución | Estable |
| EDAR_26 | BESÓS | Barcelona | Primera muestra | Aumento | Disminución | Estable | Aumento | Aumento | Estable | Aumento significativo | Disminución significativa | Estable | Aumento significativo | Estable ² | Estable | Estable | Estable | Aumento | Estable | Disminución | Disminución |
| EDAR_27 | IGUALADA | Igualada | Primera muestra | Aumento | S/D | S/D | Aumento | Aumento significativo | Estable | Estable | Estable | Estable | Estable | Estable | Aumento | Estable | Estable | Aumento significativo | Disminución | Disminución | Aumento |
| EDAR_28 | LLEIDA | Lleida | Primera muestra | Estable | Estable | Estable | Aumento | Aumento | Aumento | Estable | Disminución significativa | Estable | Estable | Estable | Aumento | Estable ² | Estable | Estable | Estable | Estable | Estable |
| EDAR_30 | ARROYO DE EL SOTO | Móstoles | Primera muestra | Aumento | Estable | Disminución | Aumento | Estable | Estable | Estable | Estable | S/D | Estable | Estable | Disminución | Aumento | Estable | Disminución | Aumento | Disminución significativa | Aumento |
| EDAR_31 | REJAS | Madrid | | | | | | | | | | | | | Primera muestra | Disminución ² | Aumento significativo | Aumento | Estable | Estable | Estable |
| EDAR_32 | VIVEROS DE LA VILLA | Madrid | | | | | | | | | | | | | Primera muestra | Disminución significativa | Aumento significativo | Disminución | Disminución significativa | Disminución significativa | Estable |

Figura 34. Histórico de tendencias de muestreos en entrada de EDAR. Evolución respecto a la semana anterior (2). Fuente: MITECO⁵³, 2020.

En estas tablas se utiliza un código de colores para determinar la variación. Esta variación es el cambio en la cantidad de ARN del virus, en relación a la semana anterior, expresado en unidades logarítmicas. En el código de colores se diferencian las siguientes situaciones⁵³:

| | |
|---------------------------|--------------|
| Disminución significativa | <-1 |
| Disminución | De -1 a -0.4 |
| Estable | De -0.4 a 1 |
| Aumento | De 0.4 a 1 |
| Aumento significativo | >1 |

Como se puede observar en ambas figuras, en las últimas semanas, los valores en la mayoría de las EDAR se mantienen estables o, incluso, disminuyen. La mayoría de los aumentos en las variaciones se dan en las primeras semanas en las que se realiza el seguimiento, es decir, en agosto, y a finales de octubre.

Por lo tanto, con este tipo de estudios se puede detectar la presencia del ARN del virus en muestras de aguas de entrada a las EDAR y así poder llevar un control del número de personas contagiadas tanto a nivel regional como a nivel estatal, puesto que permiten conocer información en zonas concretas.

En el presente Trabajo Fin de Estudios se muestran los últimos resultados obtenidos (hasta noviembre de 2020) por el grupo de trabajo sobre vigilancia en aguas de SARS-CoV-2 coordinado por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. En la página web destinada a las investigaciones del proyecto⁵⁴ *“Vigilancia microbiológica en aguas residuales y aguas de baño como indicador epidemiológico para un sistema de alerta temprana para la detección de SARS-CoV-2 en España”* se muestran las conclusiones de las diferentes reuniones que se han realizado para ver cómo evoluciona el proyecto. Por lo tanto, a medida que avancen las investigaciones, se obtendrán nuevas conclusiones sobre cómo evoluciona el virus en las aguas residuales.

2.1.2. COVID-19 en aguas residuales en Europa

Como ya se ha comentado anteriormente, muchos países decidieron monitorizar sus aguas residuales para llevar un control del virus puesto que es un posible método de detección temprana realizando estudios como el mencionado en el apartado 2.1.

2.1.2.1. Países Bajos

En Holanda, un grupo de científicos del Instituto de Investigación del Agua KWR descubrió en las aguas residuales de dos de sus ciudades (Tilburg y Kaatsheuvel) rastros de COVID-19 antes de que se detectaran casos⁴².

Los investigadores de KWR realizaron el 6 de febrero de 2020 la primera medición en una de las ciudades de los Países Bajos que sirvió para comprobar el método y poder llegar a la conclusión de si existían trazas del COVID-19. El resultado de esta medición fue negativo, mientras que, en las mediciones del 5 de marzo, coincidiendo con la confirmación de un paciente infectado, y del 15 de marzo el resultado fue positivo. Con esto, el Instituto de Investigación del Agua KWR llegó a la conclusión de que el SARS-CoV-2 está presente en las aguas residuales.

Desde abril, el Instituto Nacional de Salud Pública y Medio Ambiente (RIVM) ha estado realizando muestras semanales de las aguas residuales en 29 plantas de tratamiento de aguas residuales en los Países Bajos. Este número aumentó a 80 a finales de julio y desde septiembre se realizan seguimientos semanales en más de 300 plantas de tratamiento de aguas residuales, para así poder monitorear las aguas residuales de casi toda la población.

Esto permite determinar los municipios o provincias donde los niveles del virus en las aguas residuales están aumentando o disminuyendo. Además, también se puede analizar el aumento en los municipios o provincias en los que no se han detectado personas infectadas. Esto se debe a que es posible medir los niveles de virus en las aguas residuales de personas infectadas que no presentan síntomas.

El Gobierno de los Países Bajos (Rijksoverheid)⁴² actualiza cada semana los datos sobre el número medio de partículas de virus en un mililitro de aguas residuales. El valor nacional se basa en el número total de partículas de virus medidas en una semana, dividido por el número de mediciones.

En la Figura 35 se puede observar que, a principios de octubre (5-11 octubre) hay 826.1 partículas de virus en un mililitro de agua, mientras que, a principios de abril (30 marzo-5 abril) se hallaban 1430.85 partículas de virus en un mililitro de agua. El momento donde existe menos partículas de virus es a principios de julio (6-12 Julio) puesto que habían 17.75 partículas de virus en un mililitro de agua.

Esto parece lógico, ya que, a finales de abril, momento en el que se empezó a tener controlada la primera ola de contagios en Europa, se observa como en la gráfica la curva tiende a descender hasta llegar a valores casi nulos, siendo estos en el mes de julio. Posteriormente, tras reducir las restricciones, se ve un ligero repunte al final del verano, que puede deberse a que, con la época estival, aumenta el contacto social. Y, finalmente, se observa como la tendencia a fecha 12 de

octubre (último dato obtenido) es claramente ascendente. Esto se debe al fin de las vacaciones y a la vuelta a la rutina.

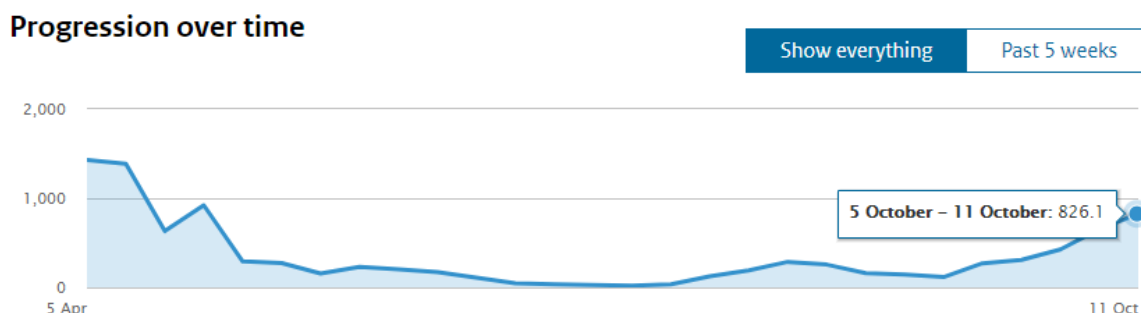


Figura 35. Número medio de partículas de virus en un mililitro de aguas residuales. Fuente: Rijksoverheid⁴², 2020.

2.1.2.2. Francia

En Francia, también se realizó un estudio⁵⁵ en la entrada de la principal planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Montpellier. Este estudio se basaba en las muestras tomadas desde el 18 de mayo de 2020 hasta el 25 de julio de 2020. Se detectaron mayores cantidades de ARN del SARS-CoV-2 en la PTAR desde mediados de junio, mientras que el número de nuevos casos de COVID-19 en el área comenzó a aumentar un par de semanas después.

En la Figura 36 se compara la cantidad de ARN del SARS-CoV-2 en las aguas residuales de Montpellier (color azul) con el número de nuevos casos de COVID-19 registrados semanalmente en el departamento de Hérault (> 40% de los habitantes que viven en Montpellier área metropolitana) (color verde) y con el número de pacientes hospitalizados con COVID-19 (color rojo).

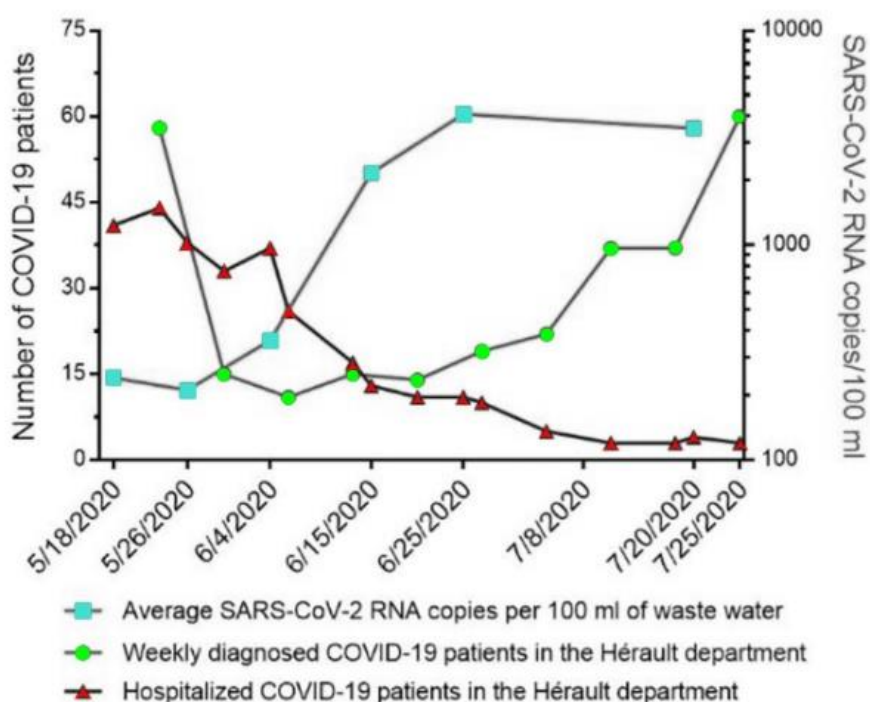


Figura 36. Correlación entre el número de nuevos casos de pacientes de COVID-19 y cantidad de RNA detectado de SARS-CoV-2 en las aguas residuales. Fuente: One Health⁵⁵, 2020.

Como se puede observar en la figura, el aumento en el número de nuevos pacientes con COVID-19 comenzó aproximadamente de 2 a 3 semanas después del aumento de los niveles de ARN del SARS-CoV-2 en las aguas residuales.

Esta diferencia aproximada de 2 semanas se considera lógica ya que, desde que una persona se infecta del virus, pasan varios días hasta que presenta los síntomas, posteriormente pasan más días hasta que puede realizarse una prueba que confirme si tiene o no COVID-19. Es en este punto cuando, una vez que se han obtenido los resultados, se reconoce el caso como positivo y se empieza a contabilizar. Es por eso, que, aunque aumente la curva de cantidad de ARN detectado del virus esto no se ve reflejado hasta pasadas 2 semanas en la curva de número de casos confirmados de COVID-19.

Parece interesante, que se estudiara la posibilidad de establecer las medidas restrictivas en base a los niveles de ARN del SARS-CoV-2 detectado en las aguas residuales, ya que este es un indicador prematuro de que los niveles de contagio van a aumentar en las próximas semanas, y por tanto, si se tomaran como referencia estos datos, se doblaría la curva antes y no se llegarían a saturar los sistemas sanitarios.

2.1.2.3. Italia

En Italia, se realizó un estudio⁵⁶ en el que se recogieron 12 muestras de aguas residuales sin tratar realizadas entre el 3 de febrero y el 2 de abril de 2020 de tres EDAR, ubicadas en Milán (dos plantas distintas, llamadas A y B) y en Roma (una planta que recibe desde dos distritos de la localidad, C1 y C2).

Los resultados de la detección del COVID-19 en las aguas residuales se muestra en la Figura 37:

| City and WWTP | Date of sampling | | | | | | | |
|-----------------|------------------|--------|--------|----------------|--------|--------|----------------|--------|
| | 03 Feb | 19 Feb | 23 Feb | 24 Feb | 26 Feb | 28 Feb | 31 Mar | 02 Apr |
| Milan – plant A | | × | | ○ ^a | × | × | | |
| Milan – plant B | × | | × | | × | ○● | | |
| Rome – plant C1 | | | | | | | ○ ^a | ○ |
| Rome – plant C2 | | | | | | | ○ | ○● |

× SARS-CoV-2 not detected; ○ SARS-CoV-2 detected (ORFlab); ● SARS-CoV-2 detected (spike).

^a

Weak positive.

Figura 37. Resultados de la detección de SARS-CoV-2 en el estudio. Fuente: Science of The Total Environment⁵⁶, 2020.

Como se observa en la figura, el primer positivo fue en la EDAR A de Milán el 24 de febrero, en la EDAR B fue el 28 de febrero, mientras que en la EDAR de Roma en ambas tuberías se detectaron restos del SARS-CoV-2 el 31 de marzo.

Los días 24 y 28 de febrero, cuando se recolectaron las muestras positivas para SARS-CoV-2 en Milán, las infecciones por COVID-19 aún eran limitadas en Italia, habiéndose ocasionado el primer caso italiano de SARS-CoV-2 el 21 de febrero. En cuanto a las muestras de influentes recogidas en Roma, el SARS-CoV-2 se detectó el 31 de marzo, cuando la epidemia se había extendido considerablemente en Italia. En esa fecha, en Italia se habían notificado un total de 77.635 infecciones por SARS-CoV-2, de las cuales 3.095 fueron en la región del Lacio y 2.186 en la provincia de Roma, con cerca del 85% de ellas activas.

Por lo tanto, actualmente en Europa la mayoría de los países realizan monitorizaciones de las aguas residuales puesto que suponen una alerta de detección temprana del COVID-19.

2.2. DESINFECCIÓN DE AGUAS

2.2.1. Contaminación por desinfectantes

En el mes de mayo, circularon mensajes sobre la necesidad de verter lejías por los desagües de inodoros, lavabos, duchas y fregaderos después de su uso para así prevenir de la presencia del COVID-19 en las aguas residuales.

El mensaje original en cuestión decía así:

Por favor agregar una taza de lejía en cada canalización de sus inodoros, lavabos, bañeras, duchas, fregaderos... Las autoridades holandesas han descubierto que el virus está creciendo y multiplicándose en el sistema de aguas residuales. Descubrieron que incluso las personas que estaban confinadas en sus casas cogieron el virus y decidieron analizar el agua y todo el sistema de aguas residuales y encontraron el virus activo en las alcantarillas. Pida a todos sus conocidos que hagan lo mismo. Todos los desinfectantes fuertes y corrosivos como Lysol pueden desempeñar el mismo rol pero la lejía concentrada es la mejor opción. Que corra la voz.

Figura 38. Mensaje enviado sobre verter lejías. Fuente: Maldita Ciencia⁶, 2020.

Este sería un buen ejemplo de lo que se denominaron “coronabulos”, que tenían que ser desmentidos en algunos medios de comunicación. En esta ocasión, el desmentido lo realizó la Dra. Ana Allende, investigadora del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS), centro perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Allende dirige un estudio para detectar la presencia del SARS-CoV-2 en aguas residuales como método de vigilancia epidemiológica. Tras realizar el seguimiento de la concentración del ARN de virus en las EDAR, afirmó que no se observaban trazas de ARN del virus una vez se ha realizado el proceso de depuración. Por lo tanto, se llegó a la conclusión de que las plantas depuradoras funcionan correctamente y degradan completamente el ARN del virus que hay en las aguas residuales⁵⁷.

Así mismo comentaba que, si se vertieran grandes cantidades de lejía se perjudicarían a las bacterias que se encuentran en los tratamientos biológicos de las estaciones depuradoras. Esto conllevaría a que el agua no se depurara de manera efectiva y no se podría asegurar la supervivencia del virus.

Además de Allende, para desmentir esto, el Ministerio de Sanidad realizó un comunicado⁵⁸ en el que se explicaba que esta medida no es necesaria, ni conveniente. Puesto que causa una gran contaminación ambiental y, además, afecta a los procesos de depuración de aguas residuales.

En cualquier caso, no existe ninguna conexión entre las aguas residuales y el agua de consumo, puesto que las aguas residuales no vuelven a ser consumidas, sino que se vierten al medio natural

una vez procesadas en las depuradoras. Es por esto, que podemos tener un problema en estos ecosistemas a los que sí llega este agua residual. Ya que, si se vierten lejías a través de los hogares, estos contaminantes pueden llegar a los ecosistemas acuáticos y los dañarían^{56,58}.

2.2.2. Eliminación del COVID-19 con los métodos de desinfección actuales

Anteriormente se ha explicado el proceso de potabilización del agua, con motivo de la pandemia han surgido dudas en cuando a la presencia de virus en ella. Esta incertidumbre surge de las noticias^{4,5} que aparecieron en los medios de comunicación, que pronto se desmintieron, acerca de que el virus podía encontrarse en el agua potable.

Actualmente, debido al SARS-CoV-2, tener agua limpia es fundamental para eliminar el virus puesto que hace falta para lavarse las manos, ducharse y para limpiar las casas y establecimientos. Ante esto surge la duda de si el virus se encontrará en esta agua limpia o no. Según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) en el agua potable no existe riesgo, puesto que no se ha detectado la presencia del virus⁵⁹.

Según el documento elaborado por la OMS: *“Agua, saneamiento, higiene y gestión de desechos en relación con el virus de la COVID-19”*⁶⁰ se determina que, para mejorar la seguridad del agua se deben de aplicar medidas para asegurar la inocuidad del suministro de agua. Estas medidas deben proteger el agua de origen, el tratamiento del agua (en el punto de distribución, recogida o consumo) y el almacenamiento seguro del agua ya tratada²⁵.

Como se comentó en el capítulo 2, el virus se encuentra envuelto con una membrana muy frágil, por lo que es menos resistente en agua que otros virus. Esto es un beneficio puesto que entonces es más susceptible a la inactivación química, como sucede con las soluciones a base de cloro y otros desinfectantes (amonio, ozono y luz ultravioleta de onda corta (UV-C))¹.

La desinfección de aguas cuenta con procesos que se basan en eliminar los microorganismos patógenos más resistentes que puedan encontrarse en ellas (el SARS-CoV-2 no se encuentra entre estos). Por lo tanto, como los tratamientos de desinfección eliminan estos microorganismos, también eliminarían el SARS-CoV-2 en caso de que estuviera presente¹.

Según la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de los Estados Unidos (OSHA) los tratamientos de desinfección actuales que se utilizan en las EDAR: cloro o ácido peracético, y la radiación ultravioleta son efectivos para proteger del coronavirus¹.

De los métodos de desinfección mencionados anteriormente, el cloro es la mejor opción económica. Los virus envueltos tienen una membrana lipídica que rodea una cápsula de proteína y glicoproteína. Cuando se realiza el tratamiento, el cloro penetra en esta membrana, reacciona con las proteínas internas y provoca que el virus se inactive²⁵. Para realizar una correcta desinfección debe de haber una concentración residual de cloro libre de 0.5 mg/L mínimo durante 30 minutos y existir unos niveles de pH < 8.0²⁵. Por lo tanto, si en el agua potable existe una concentración de cloro de más de 0.5 mg/l se puede decir que este agua no contiene el virus.

Para comprobar que actualmente en la Región de Murcia el agua potable está libre del virus, se han obtenido los datos de Aguas de Murcia⁶¹ para verificar que la cantidad de cloro libre es de mínimo 0.5 mg/L.

En la Tabla 5 se muestran los datos de los controles analíticos que realiza Aguas de Murcia⁶¹ mensualmente de los que se han extraído los que reflejan la cantidad de cloro libre en las aguas.

Tabla 5. Concentración de cloro libre residual. Fuente: Aguas de Murcia⁶¹. Elaboración propia.

| Meses (2020) | CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L) | | | | |
|--------------|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | P (01) | P (02) | P (03) | P (04) | P (05) |
| Marzo | 0.9 | 1.0 | 0.6 | 0.7 | 1.0 |
| Abril | 0.9 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.8 |
| Mayo | 0.7 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 1.0 |
| Junio | 0.6 | 0.8 | 0.5 | 0.7 | 1.0 |
| Julio | 0.8 | 0.8 | 1.0 | 0.9 | 1.0 |
| Agosto | 0.7 | 0.4 | 0.9 | 1.0 | 1.0 |
| Septiembre | 0.9 | 0.9 | 0.7 | 0.9 | 1.0 |

En la Tabla 5, los valores de P (01), P (02), P (03), P (04) y P (05) hacen referencia a la procedencia. En la Figura 39 aparece explicado a que localidades pertenece cada una de las demarcaciones empleadas en la Tabla 5.

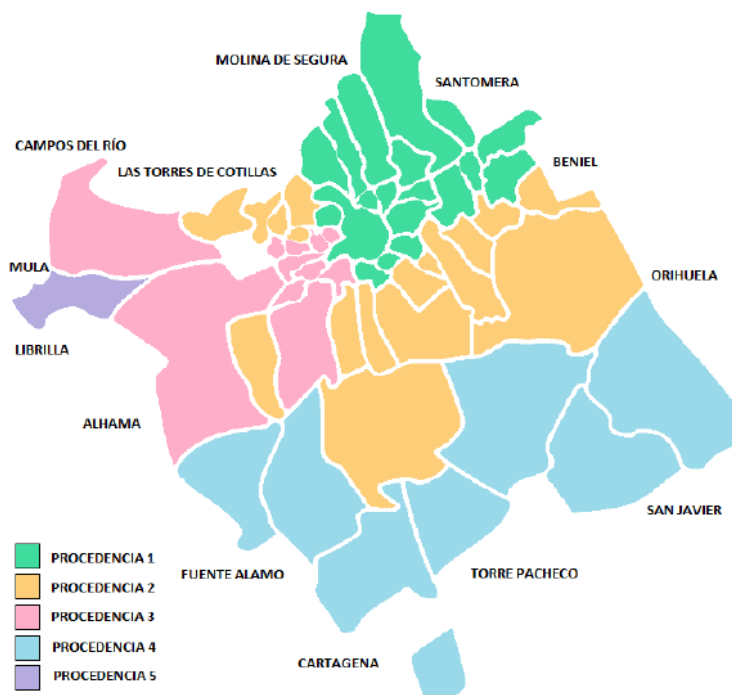


Figura 39. Localidades según procedencia de las analíticas. Fuente: Aguas de Murcia⁶¹, 2020.

Como se puede observar, en la mayoría de los meses la concentración de cloro libre residual es de más de un 0.5 mg/L. Existen dos excepciones de esto, una ocurrida en el mes de junio de 2020 en la procedencia 3 (Aljucer, El Palmar, Era Alta, La Aparecida, La Arboleja, La Raya, Los Pedriñanes, Nonduermas, Puebla de Soto, Rincón de Seca, Sangonera la Seca, San Ginés y Torre Guil) en la que la concentración de cloro es de 0.5 mg/L, y la otra excepción fue en el mes de

agosto de 2020 en la procedencia 2 (Algezares, Baños y Mendigo, Beniaján, Cabezo de la Plata, Espinardo, Guadalupe, Javalí Nuevo, Javalí Viejo, La Alberca, La Ñora, Las Casas (Cañada de San Pedro), Los Garres, Los Ramos, Rincón de Beniscordia, Sangonera la Verde, Santo Ángel, Torreagüera, Zeneta) en la que la concentración de cloro libre residual era de 0.4 mg/L. En ambos casos, como se ha comentado anteriormente, no existe apenas riesgo puesto que las ETAP son efectivas a la hora de eliminar el virus.

Por lo tanto, como se ha podido comprobar, los tratamientos que se utilizan en las ETAP son adecuados puesto que en el agua potable existe una concentración de cloro libre residual en la que el virus no puede sobrevivir. Y posteriormente una vez usada, en caso de que trazas del virus llegaran a la EDAR, con los sistemas de depuración actuales no existe riesgo de que el virus se encuentre en el agua que sale de la depuradora. En primer lugar, porque las cantidades de ARN del virus que llegan a las EDAR es mínima, en segundo lugar, porque en dichas estaciones depuradoras se utilizan tratamientos con cloro que inactivan el virus.

2.3. CONSUMOS DE AGUA

Otro de los objetivos que se marcaban en el inicio del presente Trabajo Fin de Estudios es comprobar cómo ha variado el consumo de agua a consecuencia del coronavirus. Como se ha comentado en el capítulo 1, se suponía que el consumo debería aumentar ya que durante el confinamiento aumentaron las medidas de higiene y la sociedad utilizó más el agua porque se duchaban y lavaban las manos más a menudo.

El objetivo del presente Trabajo Fin de Estudios era obtener datos de los consumos a distintos niveles: el consumo producido en una ciudad, el consumo regional o local, el consumo nacional de España y el consumo de una ciudad o país internacional para poder realizar una comparativa con los datos de España.

2.3.1. Consumos de agua en España

En primer lugar, se van a analizar los datos que se han obtenido en España. A nivel de una ciudad española se han conseguido los datos de consumo de la ciudad de Barcelona, obtenidos del Ayuntamiento de Barcelona⁶².

El análisis del comportamiento del consumo de agua se va a realizar comparando los consumos (doméstico, comercio e industria, servicios ayuntamiento y total) de los diferentes meses (de enero a septiembre) del año 2019 y del 2020 en base a los datos obtenidos del Ayuntamiento de Barcelona⁶². Los datos de consumos en (m³) se muestran en la Tabla 6 y Tabla 7.

Tabla 6. Consumos de agua año 2019. Fuente: Ayuntamiento de Barcelona⁶². Elaboración propia.

| 2019 | | | | |
|------------|-----------|----------------------|------------------------|----------|
| Mes | Doméstico | Comercio e Industria | Servicios Ayuntamiento | Total |
| Enero | 7587581 | 2585155 | 485347 | 10658083 |
| Febrero | 5252706 | 2275481 | 391305 | 7919492 |
| Marzo | 5492365 | 1494329 | 278325 | 7265019 |
| Abril | 4681250 | 2242197 | 408072 | 7331519 |
| Mayo | 5873762 | 2185590 | 417056 | 8476408 |
| Junio | 5188617 | 2614595 | 520408 | 8323620 |
| Julio | 5649797 | 2001120 | 447247 | 8098164 |
| Agosto | 5242090 | 2535973 | 506082 | 8284145 |
| Septiembre | 3987299 | 2048941 | 500510 | 6536750 |
| Octubre | 5538986 | 3400228 | 837613 | 9776827 |

Tabla 7. Consumos de agua año 2020. Fuente: Ayuntamiento de Barcelona⁶². Elaboración propia.

| 2020 | | | | |
|------------|-----------|----------------------|------------------------|---------|
| Mes | Doméstico | Comercio e Industria | Servicios Ayuntamiento | Total |
| Enero | 6180780 | 2306624 | 457199 | 8944603 |
| Febrero | 5184353 | 2157494 | 354638 | 7696485 |
| Marzo | 5541056 | 1979872 | 390471 | 7911399 |
| Abril | 5040859 | 1683126 | 182079 | 6906064 |
| Mayo | 5976195 | 1123139 | 159536 | 7258870 |
| Junio | 5884721 | 1060912 | 350167 | 7295800 |
| Julio | 6482466 | 1261794 | 537334 | 8281594 |
| Agosto | 5528522 | 1469760 | 488614 | 7486896 |
| Septiembre | 5049517 | 1494046 | 513798 | 7057361 |
| Octubre | 4904937 | 1643100 | 591838 | 7139875 |

Con estos datos se ha procedido a realizar la gráfica comparativa de los consumos de agua entre los meses de enero a octubre de los años 2019 y 2020 en Barcelona⁶². Según lo consultado antes de realizar el presente Trabajo Fin de Máster, se esperaba un aumento del consumo doméstico, que conllevaría un aumento del consumo total.

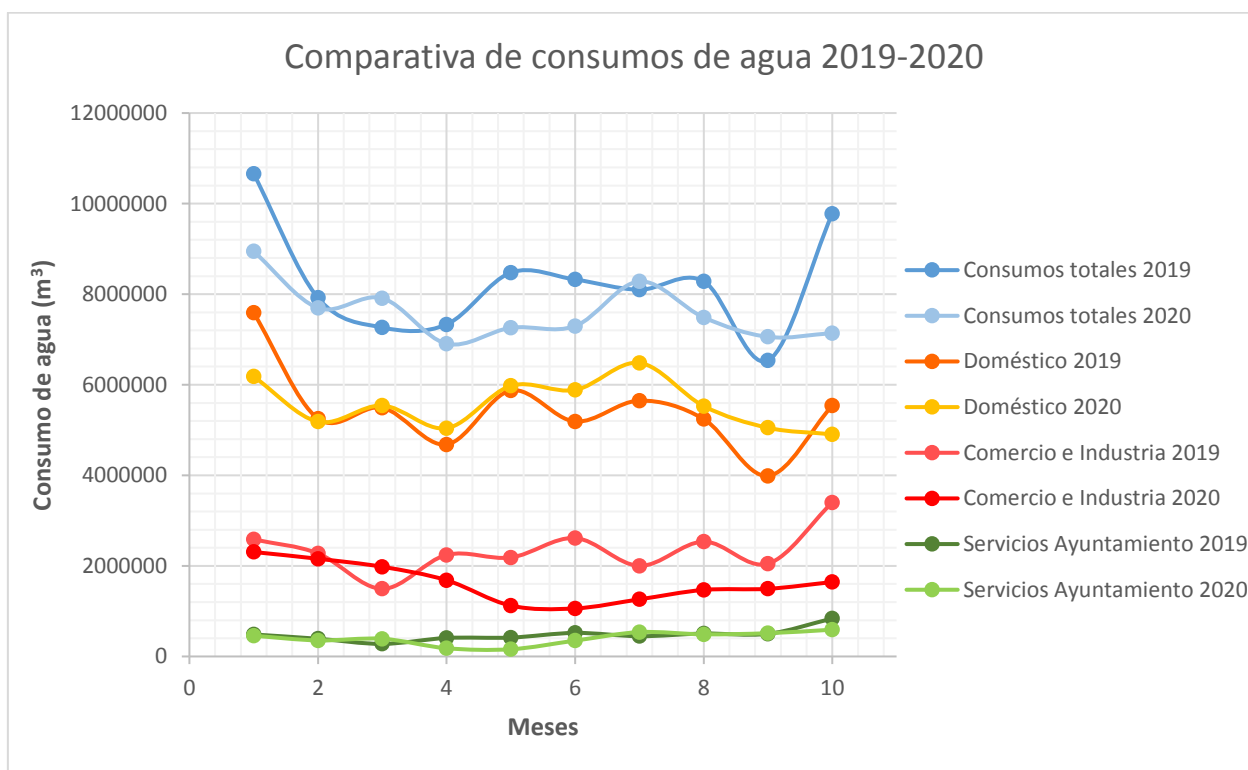


Figura 40. Comparativa consumos de agua 2019-2020. Fuente: Ayuntamiento de Barcelona⁶². Elaboración propia.

Si nos fijamos en el consumo doméstico, se aprecia una gran variación entre el año 2019 y el 2020. Desde el mes de marzo, fecha donde comenzó el estado de alarma y el confinamiento, se aprecia que el consumo de agua doméstica ha aumentado en consideración con del año anterior. Esto se puede deber en primer lugar, a que el confinamiento tuvo como resultado unos hábitos que generaron un aumento del consumo de agua en la población, y, en segundo lugar, que para protegerse del coronavirus había que tomar medidas higiénico sanitarias, por ejemplo: desinfección, higiene personal y limpieza de hogares.

Con respecto al consumo de comercio e industria, se observa que, con respecto al año anterior, ha disminuido considerablemente. Esto es debido a que, durante el estado de alarma, un gran número de empresas paralizaron su producción y, con ello, disminuyó su consumo de agua.

Los servicios Ayuntamiento de Barcelona no variaron en gran medida con el año anterior a excepción de los meses de abril a junio, coincidiendo con los meses de confinamiento en dicha ciudad, en los que los consumos de agua disminuyeron.

Por lo tanto, el consumo total de agua en los meses de enero a octubre de 2020 disminuyó con respecto al año 2019. Esto se debe a que, como este consumo es la suma de todos los anteriores, disminuyó puesto que el consumo industrial se redujo en gran medida con respecto al año anterior, y, aunque el consumo doméstico aumentó, no fue tanto en comparación con lo que disminuyó el consumo industrial.

Otro de los objetivos era conseguir datos a nivel regional o local. Estos datos se han solicitado a Aguas de Murcia, Hidrogea y Aguas de Lorca, pero hasta la fecha no nos han facilitado dichos datos.

A nivel nacional, se han solicitado los datos y se ha recibido como respuesta del Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social que dichos datos se publican en el primer semestre del año siguiente al año en estudio. Esto se debe a que se necesitan tener todos los datos del año para su posterior análisis estadístico, por lo que hasta el primer semestre de 2021 no estarían los datos sobre consumo de agua de España.

2.3.2. Consumos de agua en Europa

Otro de los objetivos era comprobar el consumo de agua a nivel internacional, para ello, se ha obtenido el seguimiento del consumo de agua durante el mes de marzo en una ciudad de Alemania⁶³. Así, estos datos pueden servir para observar cómo evolucionó el consumo de agua en una escala de tiempo más corta. El coronavirus en Alemania evolucionó en el mes de marzo de la siguiente manera: a principios de marzo existían unos 100 casos confirmados, pero en la segunda semana de dicho mes, el número de positivos aumentó a 1000. Por ello, el gobierno alemán tomó la decisión de confinar Alemania a partir del 17 de marzo⁶³.

Los datos de consumos de agua se han obtenido en la ciudad de Karlsruhe durante cuatro martes consecutivos del mes de marzo. Estos datos han sido medidos por una operadora municipal de agua llamada Stadtwerke Karlsruhe (SWKA) que distribuye agua a más de 400.000 habitantes⁶³.

En la Figura 41 se observa la variación de la demanda diaria de agua para cuatro martes consecutivos del mes de marzo de 2020. Esta gráfica, en una situación normal, debería reflejar un consumo similar durante los cuatro martes del mes⁶³.

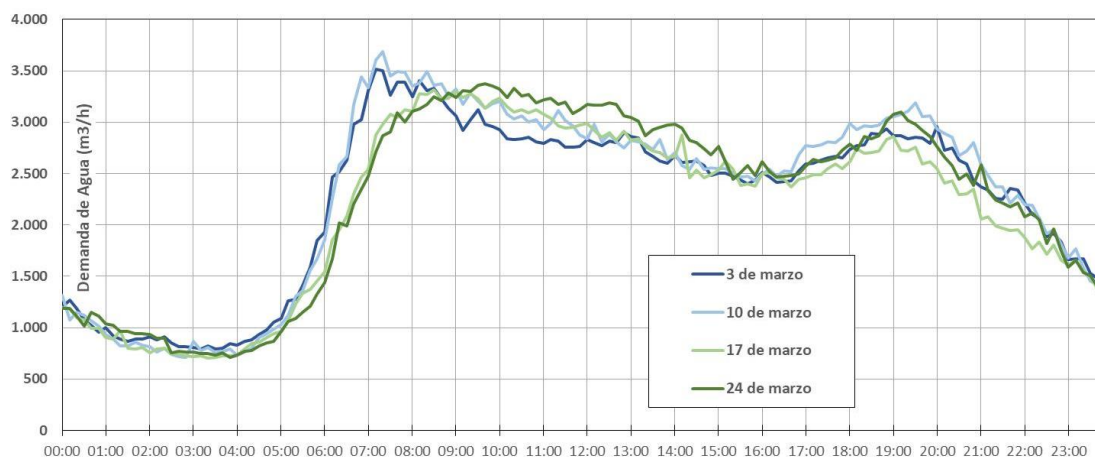


Figura 41. Demanda medida en la ciudad de Karlsruhe para cuatro martes consecutivos del mes de marzo.
Fuente: WatEner⁶³, 2020.

Esta gráfica muestra cómo ha cambiado el consumo de agua durante el mes de marzo a raíz del confinamiento puesto que se han producido variaciones en hábitos de consumo de agua, esto es debido al teletrabajo, al cierre de centros educativos y a las restricciones sociales.

También se observa que se ha producido una variación en la curva de consumo antes de las medidas propuestas por el gobierno (líneas azules) y después de dichas medidas (líneas verdes). Se puede observar como la pendiente de la curva de consumo cuando empieza el día (aproximadamente a las 5 de la mañana) es mayor en los martes en los que la población hace su vida cotidiana (líneas azules) que en los que la población estaba confinada (líneas verdes). Sin embargo, esto varía y, desde las 9 de la mañana hasta las 4 de la tarde, se produce un gran aumento del consumo de agua, con respecto a lo habitual. Esto se debe a que la población ha cambiado sus hábitos y se encuentran en casa, mientras que antes estaban en sus trabajos, centros educativos, etc. Durante el resto del día, ocurre lo mismo que se ha comentado anteriormente, y las curvas con mayor consumo de agua son las de antes del confinamiento. Esto

puede significar que la población suele estar en casa a estas horas y su comportamiento es igual tanto antes como después del confinamiento⁶³.

En la Figura 42 se muestra la comparación entre la máxima demanda de agua del primer martes de marzo y del último martes de dicho mes.

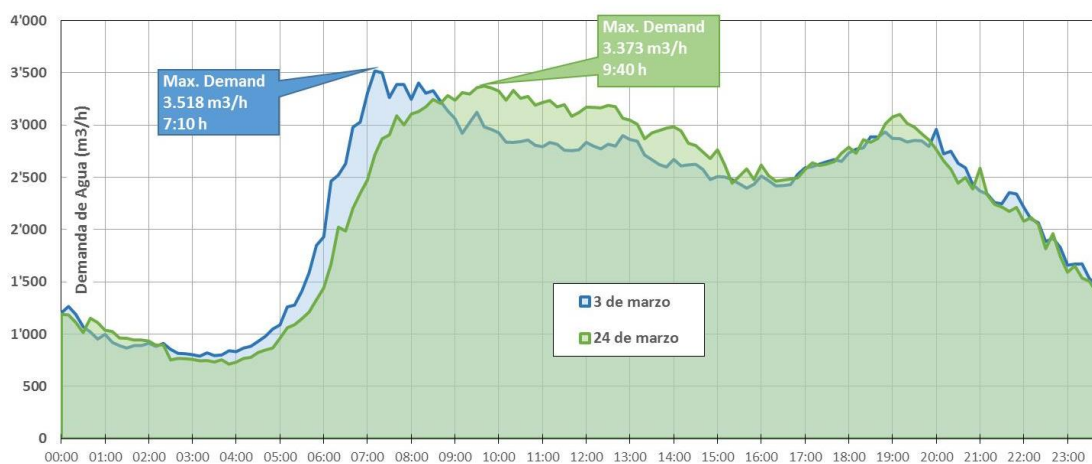


Figura 42. Comparativa de la demanda de agua entre el primer y último martes de marzo.
Fuente: WatEner⁶³, 2020.

Como se puede ver en la gráfica anterior, es de destacar que el pico de máxima demanda de agua del día 3 de marzo, es decir, el primer martes del mes, es a las 7.10 de la mañana. Esto corresponde a la hora a la que la población se levanta para acudir a los correspondientes trabajos y centros educativos. Mientras que, en el último martes del mes, día 24 de marzo, el pico de máxima demanda fue a las 9.40, coincidiendo con la variación de los hábitos de la población mientras que se encuentra confinada⁶³.

Por lo tanto, como los datos de la ciudad alemana son consumos domésticos, si pueden comparar con los consumos domésticos de Barcelona. Se llega a la conclusión, de que, en ambas ciudades se ha producido un aumento del consumo de agua doméstica a consecuencia del confinamiento. Esto se debe a que la población no se encuentra en su lugar de trabajo habitual y pasan más tiempo en casa. Además, también hay que tener en cuenta que, debido a la pandemia, los hábitos de higiene entre la población han aumentado.

CAPÍTULO 3:

Conclusiones

Una vez que se han expuesto todos los objetivos que se propusieron en el presente Trabajo Fin de Estudios, se determinan las siguientes conclusiones:

- El muestreo de las aguas residuales como indicador de la evolución del COVID-19 es una gran fuente de información puesto que, según lo observado tanto en España como en Europa, es un sistema de detección temprana de los contagiados por el virus. Esto se debe a que, según los estudios realizados en ambas regiones, una vez se analizan las aguas, se puede conocer el número aproximado de contagiados una o dos semanas antes de que se presenten los síntomas.
- Los métodos de depuración actuales son los correctos puesto que no existe riesgo de que el virus sobreviva a ellos, ya que, en las estaciones de depuración, las aguas residuales se tratan con cloro y el virus no sobrevive a este tratamiento. Además, se ha comprobado con analíticas actuales de la Región de Murcia que, si el virus se encontrara en el agua potable, no sobreviviría a causa de la concentración de cloro. Por ello, como se ha comentado no es necesario verter lejías por los fregaderos, aseos, etc, puesto que, eso solo serviría para perjudicar a los ecosistemas acuáticos y a los procesos de depuración.
- En relación con el consumo de agua entre los meses de enero a octubre, se ha demostrado que, a pesar de que el consumo de los hogares ha aumentado como consecuencia del confinamiento, la industria se encontraba paralizada y el consumo global disminuyó. Este comportamiento se ha podido evidenciar tanto en Barcelona como en la ciudad alemana de Karlsruhe. Esto se debe a que la población no se encuentra en su lugar de trabajo habitual y pasan más tiempo en casa. Además, también hay que tener en cuenta que, debido a la pandemia, los hábitos de higiene entre la población han aumentado. Así pues, se concluye que el dato de consumo en hogares se podría utilizar como un indicador de si la población cumple las restricciones en movilidad y confinamiento decretadas por las autoridades.

Referencias

Referencias

- ¹ Naddeo V. y Liu H. (2020). Correction: Editorial Perspectives: 2019 novel coronavirus (SARS-CoV-2): what is its fate in urban water cycle and how can the water research community respond?. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 6, 1213-126.
- ² Brea, F. (mayo, 2020). La investigación sobre el coronavirus en la depuradora de A Coruña confirma la presencia de restos del virus en las aguas residuales. *La Voz de Galicia*. Recuperado de: <https://www.lavozdegalicia.es/noticia/coruna/coruna/2020/05/04/investigacion-sobre-coronavirus-edar-bens-confirma-presencia-virus-aguas-residuales/00031588584520628168924.htm>
- ³ EFE (abril, 2020). Detectan material genético del Covid-19 en aguas residuales. *Cadena SER*. Recuperado de: https://cadenaser.com/emisora/2020/04/15/radio_murcia/1586951437_784835.html
- ⁴ Fernández-Rua, J. (abril, 2020). ¿Eliminan los métodos actuales el coronavirus del ciclo del agua?. *Biotech magazine & news*. Recuperado de: <https://biotechmagazineandnews.com/eliminan-los-metodos-actuales-el-coronavirus-del-ciclo-del-agua/>
- ⁵ Maldita Ciencia (abril, 2020). Qué sabemos sobre si el coronavirus puede sobrevivir en el agua y si podrías contagiarte por beberla o bañarte en ella. *Maldita Ciencia*. Recuperado de: <https://maldita.es/malditaciencia/2020/04/25/que-sabemos-coronavirus-puede-sobrevivir-agua/>
- ⁶ Maldita ciencia (septiembre, 2020). Por qué no se debe echar lejía por el inodoro para evitar la expansión del coronavirus: no sirve de nada y es peligroso para el medio ambiente. *Maldita Ciencia*. Recuperado de: <https://maldita.es/malditaciencia/2020/09/29/mensaje-recomienda-echar-lejia-inodoro-evitar-expansion-coronavirus/>
- ⁷ Martín, A. (mayo, 2020). El coronavirus no se multiplica en aguas residuales y echar lejía por las canalizaciones afectaría a las investigaciones científicas. *Newtral*. Recuperado de: <https://www.newtral.es/el-coronavirus-no-se-multiplica-en-aguas-residuales-y-echar-lejia-por-las-canalizaciones-afectaria-a-las-investigaciones-cientificas/20200524/>
- ⁸ Huelva Buenas Noticias (mayo, 2020). El confinamiento y la prevención del COVID-19 aumentan el consumo de agua en los hogares. *Huelva Buenas Noticias*. Recuperado de: <https://huelvabuenasnoticias.com/2020/05/18/el-confinamiento-y-la-prevencion-del-covid-19-aumentan-el-consumo-de-agua-en-los-hogares/>
- ⁹ EFE (abril, 2020). El consumo de agua, indicador de que se cumple el confinamiento en València. *Levante, El Mercantil Valenciano*. Recuperado de: <https://www.levante-emv.com/valencia/2020/04/16/consumo-agua-indicador-cumple-confinamiento-11524008.html>

¹⁰ Ministerio de Sanidad (agosto, 2020). Información Científica - Técnica Enfermedad por coronavirus COVID-19. Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social. Recuperado de: <https://www.msbs.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov/documentos/ITCoronavirus.pdf>

¹¹ Mayo Clinic (septiembre, 2020). COVID-19: ¿quién está a un mayor riesgo para los síntomas graves?. Mayo Clinic. Recuperado de: <https://www.mayoclinic.org/es-es/coronavirus-who-is-at-risk/art-20483301>

¹² Pérez-Gómez, B. y Rodríguez, F. (abril, 2020). Informe del grupo de análisis científico de coronavirus del ISCIII (GACC-ISCIII). Ministerio de Ciencia e Innovación. Recuperado de: https://www.conprueba.es/sites/default/files/noticias/2020-04/TRANSMISI%C3%93N%20DEL%20VIRUS_1.pdf

¹³ Aniés, J. (octubre, 2020). Aerosoles, vía de contagio de la COVID-19. Asepeyo. Recuperado de: <https://www.asepeyo.es/blog/seguridad-laboral/aerosoles-contagio-covid-19/>

¹⁴ Preguntas y respuestas sobre la enfermedad por coronavirus (COVID-19). Organización Mundial de la Salud. Recuperado de: <https://www.who.int/es/emergencias/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/q-a-coronaviruses>

¹⁵ Polo, D., Quintela-Baluja, M., Corbishley, A., Jones, D., Singer, A., Graham, D. & Romalde, J. (2020) Making waves: Wastewater-based epidemiology for COVID-19 – approaches and challenges for surveillance and prediction. *Water Research*, 186, 116404.

¹⁶ Tran, H. N., Le, G. T., Nguyen, D. T., Juang, R.-S., Rinklebe, J., Bhatnagar, A., Lima, E. C., Iqbal, H. M. N., Sarmah, A. K., & Chao, H.-P. (2020). SARS-CoV-2 coronavirus in water and wastewater: A critical review about presence and concern. *Environmental Research*. 110265.

¹⁷ Xiao, F., Tang, M., Zheng, X., Liu, Y., Li, X., Shan, H. (2020). Evidence for gastrointestinal infection of SARS-CoV-2. *Gastroenterology*. 158 (6), 1831-1833..

¹⁸ Holshue, ML., DeBolt, C., Lindquist, S., Lofy, KH., Wiesman, J., Bruce, H., et al. (2020). First case of 2019 novel coronavirus in the United States. *The New England Journal Medicine*, 382(10), 929-36.

¹⁹ Woelfel, R., Corman, VM., Guggemos, W., Seilmaier, M., Zange, S., Mueller, MA., et al. (2020). Clinical presentation and virological assessment of hospitalized cases of coronavirus disease 2019 in a travel-associated transmission cluster. *medRxiv*, 20030502.

²⁰ Hung, LS. (2003). The SARS Epidemic in Hong Kong: What Lessons have we Learned?, *JR Soc. Medicine*, 96, 374–378.

²¹ Leung, WK., Para, KF., Chan, PKS., Chan, HLY., Wu, AKL., Lee, N., Yuen, KY., & Sung, JJY., (2003). Enteric involvement of severe acute respiratory syndrome-associated coronavirus infection, *Gastroenterology*, 125, 1011–1017.

²² Fong, T-T. & Lipp, EK. (2020). Enteric Viruses of Humans and Animals in Aquatic Environments: Health Risks, Detection, and Potential Water Quality Assessment Tools, *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 69 (2), 357–371.

²³ Casanova, L., Rutala, W. A., Weber, D. J., & Sobsey, M. D. (2009). Survival of surrogate coronaviruses in water, *Water Research*, 43 , 1893–1898.

²⁴ KR Wigginton, KR. & Ellenberg, RM. (2005). La fuente y el destino de los virus pandémicos en el ciclo del agua urbana, *Environmental Science: Water Research & Technology*, 1, 735–746.

²⁵ Unicef (marzo, 2020). Medidas, datos y recomendaciones de la OMS sobre el conoravirus para el sector del agua. Aguas Residuales.info. Recuperado de: <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/medidas-datos-y-recomendaciones-de-la-oms-sobre-el-conoravirus-para-el-sector-del-agua>

²⁶ Garducci, A., Federigi, I., Lui., D. (2020). Making Waves: Coronavirus detection, presence and persistence in the water environment: State of the art and knowledge needs for public health. *Water Research*. 179, 115907.

²⁷ Aguas residuales: tratamiento y depuración. Structuralia. Recuperado de: <https://blog.structuralia.com/los-18-elementos-de-una-estacion-depuradora-de-aguas-residuales-paso-a-paso>

²⁸ Tratamiento físico-químico. Degremont. Recuperado de: <http://www.degremont.es/es/index.php/sector-industrial/aguas-residuales/tratamiento-fisicoquimico.html>

²⁹ Sistemas de depuración natural. Depuranatura. Recuperado de: <http://depuranatura.blogspot.com/2011/05/decantacion-primaria-seccion-de-un.html>

³⁰ Tuset, S. Sistemas con reactores aeróbicos para tratar aguas residuales. Condorchem envitech. Recuperado de: <https://blog.condorchem.com/sistemas-con-reactores-aerobicos-para-tratar-aguas-residuales/>

³¹ Diseño de una EDAR. EmerGea. Recuperado de: <https://sites.google.com/site/ogp2014grupo01/disenio-e-d-a-r>

³² Tratamiento de fangos. El agua potable. Recuperado de: http://www.elaguapotable.com/tratamiento_de_lodos.htm

³³ Mendoza, Y. Digestión anaerobia. Slideshare. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/yazminmendozacastillo/digestion-anaerobia-31879582>

³⁴ Deshidratación de fangos EDAR con tornillos deshidratadores. Aguas industriales. Recuperado de: <http://aguasindustriales.es/deshidratacion-de-fangos-edar-con-tornillos-deshidratadores/>

³⁵ MITECO. Lodos de depuración de aguas residuales. Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. Recuperado de: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/lodos-depuradora/>

³⁶ Zarza, L. ¿Cómo se potabiliza el agua?. Iagua. Recuperado de: <https://www.iagua.es/respuestas/como-se-potabiliza-agua>

³⁷ Las plantas potabilizadoras. Principios fundamentales de una ETAP. Aristegui Maquinaria. Recuperado de: <https://www.aristegui.info/las-plantas-potabilizadoras-principios-generales-de-una-etap/>

³⁸ Roberti, L. Coagulación, floculación y separación. Sswm. Recuperado de: <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/coagulaci%C3%B3n%2C-floculaci%C3%B3n-y-separaci%C3%B3n>

³⁹ Tratamiento del agua. Consorcio de Aguas Plan Écija. Recuperado de: <http://www.consoruasecija.es/?%26Aacute%3BMBITO:6. OTROS%26nbsp%3B:TRATAMIENTO DEL AGUA>

⁴⁰ Area Ciencias. Potabilización y Depuración del Agua. Area Ciencias. Recuperado de: <https://www.areaciencias.com/biologia/potabilizacionydepuraciondelagua/>

⁴¹ Eurostat (noviembre, 2020). Water Statistics. Eurostat. Recuperado de: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Water_statistics#Water_uses

⁴² RIVM. Sewage water examination. Rijksoverheid. Recuperado de: <https://coronadashboard.government.nl/landelijk/rioolwater>

⁴³ Esamur (junio, 2020). La lucha contra la pandemia Desarrollan un método que detecta y monitorea focos de coronavirus en un barrio con tests PCR de su líquido cloacal. Esamur. Recuperado de: <https://www.esamur.com/actualidad/116/la-lucha-contra-la-pandemia-desarrollan-un-metodo-que-detecta-y-monitorea-focos-de-coronavirus-en-un-barrio-con-tests-pcr-de-su-liquido-cloacal>

⁴⁴ Randazzo, W., Truchado, P., Cuevas-Ferrando, E., Simón, P., Allende, A., Sánchez, G. (2020). SARS-CoV-2 RNA in wastewater anticipated COVID-19 occurrence in a low prevalence area, Water Research, 181, 115942.

⁴⁵ Vigilancia microbiológica en aguas residuales y aguas de baño como indicador epidemiológico para un sistema de alerta temprana para la detección precoz de SARS-CoV-2 en España. Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. Recuperado de: <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/concesiones-y-autorizaciones/vertidos-de-aguas-residuales/alerta-temprana-covid19/default.aspx>

⁴⁶ Selección de puntos de muestreo. Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. Recuperado de:

<https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/concesiones-y-autorizaciones/vertidos-de-aguas-residuales/alerta-temprana-covid19/VATAR-COVID19-Seleccion-puntos-muestreo.aspx>

⁴⁷ Dirección General del Agua (julio, 2020). Estaciones depuradoras de aguas residuales. Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. Recuperado de:

https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/concesiones-y-autorizaciones/web-listado-edar-estatal_tcm30-510507.pdf

⁴⁸ Allende, A., de Andrés, A., Figueras, A., Grimalt, J., Prieto, C., Sánchez, G. (mayo, 2020). Informe sobre transmisión del SARS-CoV-2 en playas y piscinas. CSIC. Recuperado de:

https://www.csic.es/sites/default/files/informe_playasypiscinas_csic.pdf

⁴⁹ Dirección General del Agua (julio, 2020). Zonas de baño. Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. Recuperado de:

https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/concesiones-y-autorizaciones/web-listado-zoba-ccaa_tcm30-510508.pdf

⁵⁰ Laboratorios de análisis. Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. Recuperado de:

https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/concesiones-y-autorizaciones/web-listado-laboratorios_tcm30-510005.pdf

⁵¹ Randazzo, W., Truchado, P., Allende, A., y Sánchez, G. (septiembre, 2020). Protocolo detección SARS-CoV-2 en aguas residuales. Ministerio de Ciencia e Innovación. Recuperado de:

https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/concesiones-y-autorizaciones/protocolo-deteccion-sars-cov-2-aguas-residuales-viaral-csic_tcm30-511970.pdf

⁵² González, C. (septiembre, 2020). Desarrollo del proyecto VATar-COVID-19. Primeros resultados. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Recuperado de:

https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/concesiones-y-autorizaciones/reunion3-cgr-gt-red-alerta-temprana-covid-19_tcm30-512044.pdf

⁵³ Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (noviembre, 2020). Control microbiológico en aguas residuales como indicador epidemiológico de alerta temprana de propagación de COVID-19. Resultados en EDAR. Semana 19 (15 a 21 de noviembre de 2020). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Recuperado de:

https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/concesiones-y-autorizaciones/control-microbiologico-aguas-residuales-indicador-epidemiologico-covid19_tcm30-517506.pdf

⁵⁴ Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Grupo de trabajo sobre vigilancia en aguas de SARS-CoV-2 para coordinación e intercambio de datos. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Recuperado de:

<https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/concesiones-y-autorizaciones/vertidos-de-aguas-residuales/alerta-temprana-covid19/VATAR-COVID19-Grupo-de-trabajo-vigilancia-aguas-de-SARS-CoV-2.aspx>

⁵⁵ Trottier, J., Darques, R., Ait Mouheb, N., Partiot, E., Bakhache, W., Deffieu, M. S., & Gaudin, R. (2020). Post-lockdown detection of SARS-CoV-2 RNA in the wastewater of Montpellier, France. *One Health*, 10, 100157.

⁵⁶ La Rosa, G., Iaconelli, M., Mancini, P., Bonanno Ferraro, G., Veneri, C., Bonadonna, L., Lucentini, L., & Suffredini, E. (2020). First detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewaters in Italy, *Science of The Total Environment*, 736, 139652.

⁵⁷ EITB (mayo, 2020). No, no se debe echar lejía por los inodoros para eliminar el coronavirus. Eitb. Recuperado de: <https://www.eitb.eus/es/noticias/sociedad/detalle/7247122/no-no-se-debe-echar-lejia-inodoros-eliminar-coronavirus/>

⁵⁸ Ministerio de sanidad (mayo, 2020). El virus SARS-CoV-2 y el agua residual urbana. Ministerio de Sanidad. Recuperado de: https://www.mscbs.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov/documentos/Agua_residual_covid.pdf

⁵⁹ EPA (abril, 2020). Coronavirus and Drinking Water and Wastewater. EPA. Recuperado de: <https://www.epa.gov/coronavirus/coronavirus-and-drinking-water-and-wastewater>

⁶⁰ OMS y UNICEF, (abril, 2020). Agua, saneamiento, higiene y gestión de desechos en relación con el virus de la COVID-19. OMS. Recuperado de: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/331929/WHO-2019-nCoV-IPC_WASH-2020.3-spa.pdf

⁶¹ Aguas de Murcia (septiembre, 2020). Control analítico y análisis representativo del agua suministrada. Emuasa. Recuperado de: <https://www.emuasa.es/control-calidad-del-agua>

⁶² Societat General d'Aigües de Barcelona. SA. (septiembre, 2020). Evolución mensual del consumo de agua. Ajuntament de Barcelona. Recuperado de: <https://www.bcn.cat/estadistica/angles/dades/economia/consum/evoconsum/coev04.htm>

⁶³ WatEner. Cambios en el Consumo de Agua y la Previsión de la Demanda durante la crisis de la COVID-19. WatEner. Recuperado de: <http://watener.com/index.php/cambios-en-el-consumo-de-agua-y-la-prevision-de-la-demanda-durante-la-crisis-de-la-covid-19/?lang=es>