

EL COVID-19 Y LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA · CURSO 2019/2020
TRABAJO DE FIN DE GRADO · FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA
AUTOR: SANTIAGO LLOBELL BARTRET · TUTOR: JOSE MARÍA VERCHER SANCHIS



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR DE
ARQUITECTURA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

RESUMEN

El SARS-CoV-2 proviene de una familia de virus causantes de enfermedades infecciosas de carácter respiratorio. La emergencia de este virus se ha convertido en un problema global de salud debido a la severidad de la enfermedad que provoca, el COVID-19, así como a su rapidez de propagación tanto por el aire, como a través del contacto con la superficie de cualquier objeto o material en que éste se deposita.

Desde el enfoque de la arquitectura, en este trabajo se analiza la persistencia del virus sobre la superficie de los diferentes materiales de construcción, en condiciones distintas de radiación solar, humedad y temperatura, así como las técnicas eficaces de eliminación de este agente patógeno en esos materiales. Se trata de conseguir que los edificios, no solo no contribuyan a la propagación, sino que, por el contrario, minimicen las posibilidades de expansión del virus.

PALABRAS CLAVE: COVID-19; SARS-CoV-2; coronavirus; arquitectura; materiales de construcción; persistencia; propagación

ABSTRACT

SARS-CoV-2 comes from a family of viruses that cause infectious respiratory diseases. The emergence of this virus has become a global health problem due to the severity of the disease it causes, COVID-19, as well as its rapid spread both through the air and through contact with the surface of any object or material in which it is deposited.

From an architectural approach, this thesis analyses the persistence of the virus on the surface of different building materials, under different conditions of solar radiation, humidity and temperature, as well as the effective techniques for eliminating this pathogenic agent in these materials. The aim is to ensure that buildings not only do not contribute to the spread of the virus but, on the contrary, minimise its possibilities of expansion.

KEYWORDS: COVID-19; SARS-CoV-2; coronavirus; architecture; building materials; persistence; propagation

ÍNDICE

1. Motivación	4
2. Objetivo y metodología	5
3. Introducción	6
4. Estabilidad del virus en diferentes condiciones climáticas	9
4.1 Temperatura y humedad.....	9
4.2 Irradiación de los rayos UV y de la luz solar	12
4.3 Ventilación.....	13
4.4 Conclusiones.....	18
5. Persistencia del virus sobre la superficie de diferentes materiales	19
5.1 Plásticos	20
5.2 Metales	23
5.3 Vidrios y cerámicos	26
5.4 Madera	28
5.5 Cales y cementos	29
5.6 Textiles.....	30
5.7 Papel, billetes de papel y polímero	32
5.8 Influencia del pH.....	34
5.9 Persistencia de otros virus sobre distintos materiales	35
5.10 Cuadro resumen.....	36
5.11 Conclusiones	37
6. Materiales de construcción, técnicas y aditivos biocidas y viricidas en la actualidad	39
6.1 Plásticos	41
6.2 Metales	43
6.3 Cerámicos.....	48
6.4 Hormigón y morteros	50
6.5 Maderas	51
6.6 Pinturas	52
6.7 Productos desinfectantes	53
6.8 TABLA DE PRODUCTOS	55
6.9 Conclusiones.....	57

7. Recomendaciones constructivas para minimizar la propagación del COVID-19	59
8. Conclusiones.....	63
9. Bibliografía	65
9.1 Referencias	65
9.2 Índice de figuras	68
9.3 Índice de tablas	69
9.4 Referencias web de figuras y tablas	69

1. Motivación

La elección del tema de este trabajo viene dada por el problema de rigurosa actualidad al que se enfrenta la sociedad con la pandemia provocada por el virus SARS-Cov-2 (coronavirus tipo 2 del síndrome respiratorio agudo grave), que ha tenido una gran repercusión en el mundo a todos los niveles, principalmente en el sanitario y el económico, y requiere de una respuesta colectiva con el objetivo de combatir las consecuencias producidas por el mismo.

Por una parte, este fenómeno ha tenido un gran impacto en el sector de la construcción, con un desplome en la venta de materiales de construcción del 40% (El Cronista, 2020). Esto ha provocado una incertidumbre económica por la falta de visibilidad de lo que podrá ocurrir en los próximos meses y años. Incluso después de la consecución de una solución médica a la pandemia se espera que las consecuencias hagan cambiar los hábitos del sector.

Por otra parte la arquitectura tiene que tratar de dar una solución a la crisis sanitaria a la que nos enfrentamos, como ya lo ha hecho a lo largo de la historia en situaciones similares, por ejemplo, con la crisis sanitaria que provocó la tuberculosis en el año 1932, donde se entendió que el diseño de los espacios debía cumplir la función de prevenir y combatir pandemias. Se descubrió que las bacterias infecciosas son más estables en ambientes oscuros y polvorientos y que el aire limpio y el sol mejoraban la salud de los pacientes. De este modo, se empezaron a proyectar hospitales y escuelas con ventanas más grandes, terrazas, viviendas elevadas y muebles aerodinámicos contra el polvo, maximizando así la luminosidad, ventilación y la limpieza de dichos espacios.

En el ámbito de la arquitectura surge con la pandemia del COVID-19 (en inglés, coronavirus disease 2019), una vez más, la necesidad de investigar y desarrollar nuevas técnicas y materiales con el objetivo de diseñar espacios más preventivos e higiénicos, de forma que el aislamiento de estos frente al virus sea el máximo posible.

2. Objetivo y metodología

El estudio tiene como objetivo principal ofrecer unas recomendaciones de diseño y, sobre todo, en lo que respecta a la elección de los diferentes materiales de construcción para construir edificios que contribuyan al máximo a evitar la propagación del COVID-19. La intención es que estas medidas puedan servir como referencia en el diseño y la construcción de la arquitectura de hoy en adelante.

Para conseguirlo, se ha recopilado y estudiado la información disponible hasta la fecha en lo referente a la estabilidad del SARS-Cov-2 frente a diferentes condiciones climáticas y se compara la persistencia de este sobre la superficie de diferentes materiales de construcción, así como la eficacia de diferentes aerosoles en la eliminación del agente patógeno.

En primer lugar, se ha extraído información de diversas investigaciones, artículos científicos y documentos académicos realizados en relación con el tema. En principio, la mayoría de los estudios consisten en la exposición de la superficie de diversos materiales a un fluido de muestra que contiene rastros del virus. Una vez hecho esto, se observa la infectividad y estabilidad del virus con el paso del tiempo. También existen otras investigaciones que observan el comportamiento del virus ante diferentes condiciones atmosféricas como la temperatura, la humedad y la radiación solar.

Teniendo en cuenta los resultados y conclusiones obtenidos en el análisis, se ofrecen unas recomendaciones de forma que se minimicen las posibilidades de expansión del virus según la tipología edificatoria, las condiciones constructivas y los materiales empleados, con el objetivo de poder ser útil de cara al diseño de nuevos espacios que cumplan medidas higiénicas y sanitarias frente al COVID-19, desde nuevas tipologías residenciales hasta diferentes edificios públicos, como pueden ser oficinas, centros para personas con necesidades especiales que requieren de unos cuidados más intensivos, escuelas, hospitales, etc.

3. Introducción

Antes de 2002, se consideraba que los CoV eran virus que causaban un resfriado común y nunca se percibieron como amenazas graves para la salud pública. Esta percepción cambia en 2002-2003 tras la aparición del SARS-CoV-1 (coronavirus tipo 1 del síndrome respiratorio agudo grave), que es la primera vez que un CoV infecta de forma letal a los seres humanos (Drosten et al., 2003). La epidemia de SARS-CoV-1 causó más de 8000 contagios y más de 900 muertes en 29 países, según datos de la OMS. Tras su contención en 2004, el número de casos de SARS-CoV-1 bajó de forma drástica y no volvió a suponer un problema sanitario. En 2012 irrumpió un nuevo coronavirus zoonótico, el MERS-CoV (coronavirus del síndrome respiratorio de Oriente Medio) originando una nueva epidemia que se cobró la vida de más de 800 personas en 27 países (BBC News Mundo, 2020).

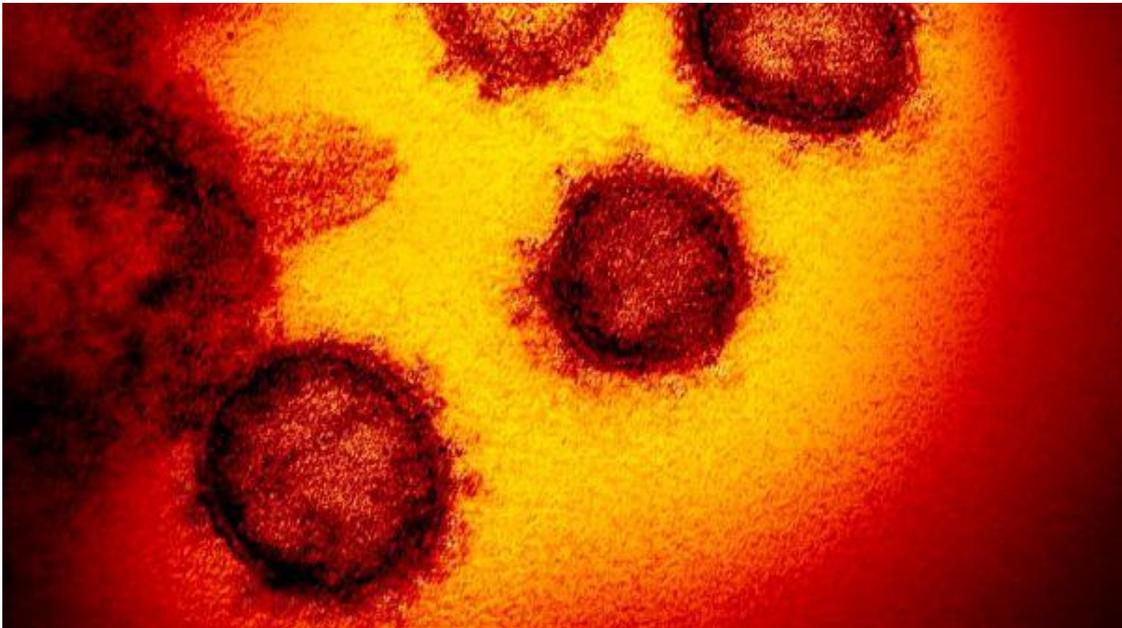


FIGURA 1 - EL SARS-CoV-2 VISTO AL MICROSCOPIO.
IMAGEN DE NIUSDIARIO.ES

En diciembre de 2019 surge el SARS-CoV-2 actual en la ciudad de Wuhan, China, causando una enfermedad respiratoria aguda grave (COVID-19). Debido al drástico aumento del número de casos notificados de COVID-19 en todo el mundo, la OMS la declaró pandemia el 11 de marzo de 2020. Hasta el 1 de noviembre de 2020, se han notificado más de 46.000.000 casos confirmados de COVID-19, incluidas más de 1.190.000 muertes, en 188 países. Sólo en los Estados Unidos se advierten 9.160.000 casos que han provocado más de 230.000 muertes y en España son 1.190.000 casos y más de 35.000 muertes (JHU CSSE, 2020).

La tasa de mortalidad general del SARS-CoV-2 es, a priori, relativamente baja (~3%) en comparación con la del SARS-CoV-1 y el MERS-CoV (10,9% y 34,4%, respectivamente), según datos de BBC News Mundo (2020). Sin embargo, es evidente que el SARS-CoV-2 es mucho más contagioso, como lo demuestra su propagación por todo el mundo en muy poco tiempo, habiendo llegado al colapso de los recursos de atención médica en muchos países, llevando a los mismos países a una situación desastrosa en términos económicos, sanitarios y, en definitiva, globales.

Debido a que no existe una vacuna efectiva y segura para el SARS-COV-2, el control de la infección es el único método disponible para limitar la propagación del virus. El control de la infección y las medidas preventivas dependen principalmente de nuestra comprensión primaria de las rutas de transmisión de este virus. Más allá de la transmisión directa de persona a persona, existen rutas de transmisión como la fecal-oral, nosocomial, aérea y el contacto con superficies contaminadas (Aboubakr et al., 2020).

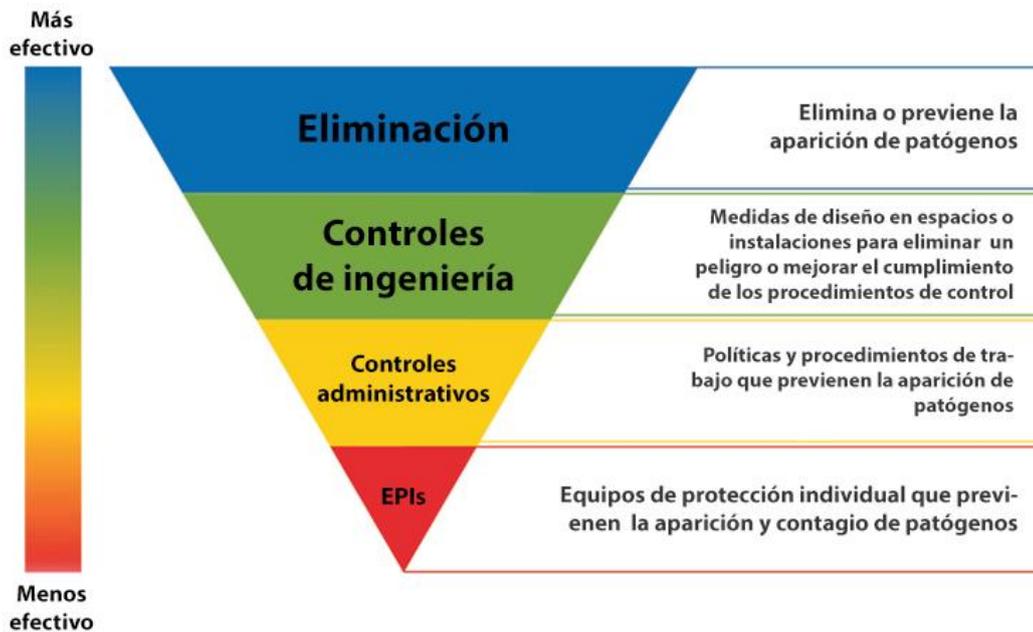


FIGURA 2 - ESTRATEGIAS DE CONTROL DE INFECCIÓN.
IMAGEN TRADUCIDA DE AAHA.ORG

En la *Figura 2* se exponen los diferentes métodos y pautas para controlar la expansión del virus enumeradas según su efectividad (Infection Control Strategies, 2020). La más efectiva es la eliminación física del virus, ya sea a través de las propiedades del ambiente y de los materiales o a través de la aplicación de distintos productos, como pueden ser los aerosoles. La segunda son los controles de ingeniería, que consisten en el diseño óptimo de espacios e instalaciones principalmente en lugares públicos para minimizar riesgos, como por ejemplo en escuelas u hospitales. En tercer lugar, los controles administrativos, que incluyen protocolos o cambios en la logística o procedimientos de trabajo para mantener a las personas aisladas de posibles

focos de infección, así como el hecho de proporcionar información, capacitación y supervisión para estas medidas. En último lugar tenemos los EPIs, que incluye el uso de ropa y equipo especiales para proteger al personal y a los pacientes que puedan estar expuestos al virus. La combinación de todas las medidas de seguridad mencionadas garantiza un control óptimo. No obstante, este estudio se centrará en las dos primeras, al ser las estrategias más activas y eficaces de cara a la minimización de propagación del virus.

Pese a que la información que existe actualmente acerca de los factores que afectan a la estabilidad y propagación del SARS-CoV-2 es reducida y cambiante, se han reunido todos los datos disponibles respecto a este y otros coronavirus a partir de informes y estudios publicados en los últimos meses, con el objetivo de establecer un sólido protocolo a largo plazo para interrumpir o minimizar la transmisión ambiental indirecta del virus, limitando su propagación y mitigando sus riesgos.

Para poder precisar esta información lo máximo posible, se analiza la estabilidad e infecciosidad del SARS-CoV-2 ante diferentes condiciones y factores climáticos, como pueden ser la temperatura, la humedad relativa del ambiente, la radiación solar, etc. También se evalúa su comportamiento sobre distintas superficies, principalmente de materiales usados frecuentemente en la construcción, como pueden ser el acero, la madera, el cobre, el vidrio, el plástico, la tela o el papel y otros. Por otra parte se estudian las principales estrategias de eliminación del virus, principalmente por medio de diferentes aerosoles y agentes químicos.

4. Estabilidad del virus en diferentes condiciones climáticas

Antes de analizar la estabilidad del SARS-CoV-2 sobre las superficies es importante conocer su comportamiento ante las condiciones climáticas de distintos ambientes. Estudios epidemiológicos recientes han informado de que existe una fuerte relación entre las condiciones climáticas y la propagación del SARS-CoV-2.

Entre las condiciones más importantes se encuentran la temperatura y humedad, la irradiación de los rayos UV y la luz solar y la ventilación, que son las que han sido analizadas con mayor nivel de profundidad y precisión.

4.1 Temperatura y humedad

El estudio de Wang et al. (2020) investigó la relación entre las medias diarias de las temperaturas y el número acumulado de casos confirmados de COVID-19 en el mundo entre el 20 de enero y el 4 de febrero de 2020. Descubrieron que la temperatura puede alterar la transmisión del SARS-CoV-2 y sugirieron que los países y regiones con una temperatura más baja deberían adoptar las medidas de control más estrictas para evitar que su propagación en el futuro.

En otro estudio se examinó el efecto de la temperatura y la humedad en las pautas mundiales de la dinámica de los primeros brotes de COVID-19 (entre enero y marzo de 2020). Se constató un fuerte impacto de la temperatura y la humedad en la tasa de crecimiento de los casos de COVID-19 en todo el mundo. La tasa de crecimiento de los casos de COVID-19 alcanzó su punto máximo a una temperatura de $\sim 5^{\circ}\text{C}$ y una humedad de 0,6-1 kPa en las regiones templadas del hemisferio norte durante el mes del brote, mientras que disminuyó en las regiones que tenían temperaturas más cálidas o frías. (Ficetola and Rubolini, 2020).

Un estudio similar investigó la correlación entre la propagación de la enfermedad y diversos factores meteorológicos, tomando como ejemplo el caso de la provincia de Hubei, China, cuya capital es la ciudad de Wuhan, que es precisamente donde se detectaron las primeras transmisiones del virus entre humanos. Los factores estudiados fueron la presión atmosférica media, la temperatura media, la temperatura mínima y la humedad absoluta. Se descubrió que el aumento de la presión media y la disminución de la temperatura media, la temperatura mínima y la humedad absoluta afectaban positivamente a la incidencia de COVID-19 (Li et al. 2020).

La investigación de Chin et al. (2020) midió la estabilidad del SARS-CoV-2 a diferentes temperaturas, en el cual se ha diluido el virus en un medio líquido

donde la concentración final del virus ronda las 6-8 unidades logarítmicas. En el estudio se comprueba la infecciosidad del virus hasta 14 días después. Se obtuvieron los resultados mostrados en la *Figura 3*. Se observa que el virus es altamente estable a temperaturas bajas y se vuelve progresivamente más sensible al aumentar la temperatura. En el ensayo a la temperatura de 4°C, el virus se muestra estable hasta pasados 14 días y apenas se reduce su carga vírica. A los 22°C, el virus se mantiene estable durante 2 días. A partir de ese momento, la carga viral empieza a decaer progresivamente hasta inactivarse completamente 12 días después, es decir, en el día 14. A partir de los 37°C, el virus persiste en el ambiente hasta un máximo de 2 días y a temperaturas superiores el virus ya se vuelve altamente inestable, perdurando un máximo de 30 minutos a 56°C y apenas 5 minutos a 70°C.

Se evidencia que el SARS-CoV-2 presenta un comportamiento más estable ante temperaturas más bajas, volviéndose progresivamente más sensible con el incremento de la temperatura.

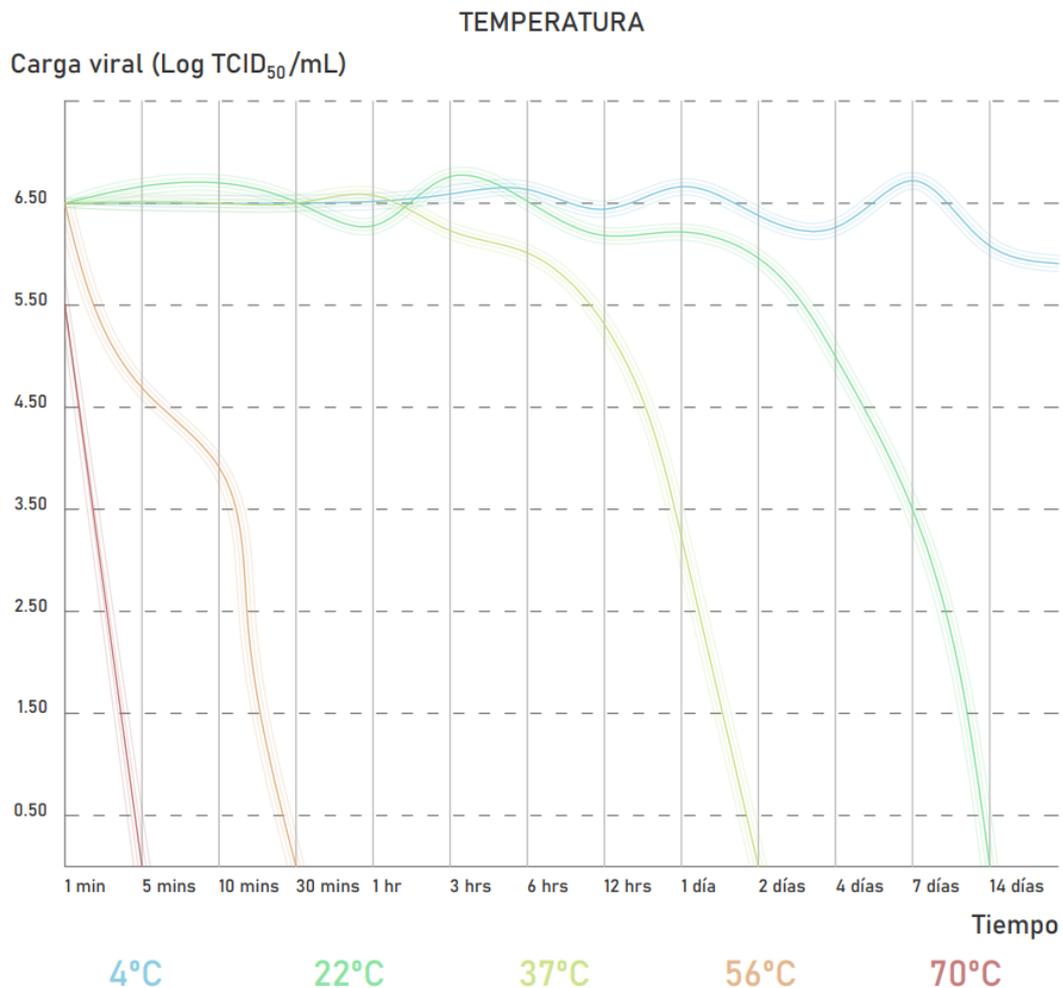


FIGURA 3 - LA PERSISTENCIA DEL SARS-CoV-2 Y LA TEMPERATURA.
ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DEL ESTUDIO DE CHIN ET AL. (2020)

Aunque las condiciones climáticas de la estación de verano o de las regiones cálidas puedan mitigar la tasa de crecimiento de los casos de COVID-19, ninguna región geográfica es inmune a este riesgo, ya que la rápida tasa de crecimiento de los casos de COVID-19 también se ha producido en algunos climas cálidos como Brasil y Filipinas. Por consiguiente, sigue siendo esencial adoptar medidas estrictas para controlar la propagación de la enfermedad en todas las zonas del mundo y la ausencia de medidas de contención podría dar lugar a graves brotes también en las regiones cálidas (Hellewell et al. 2020).

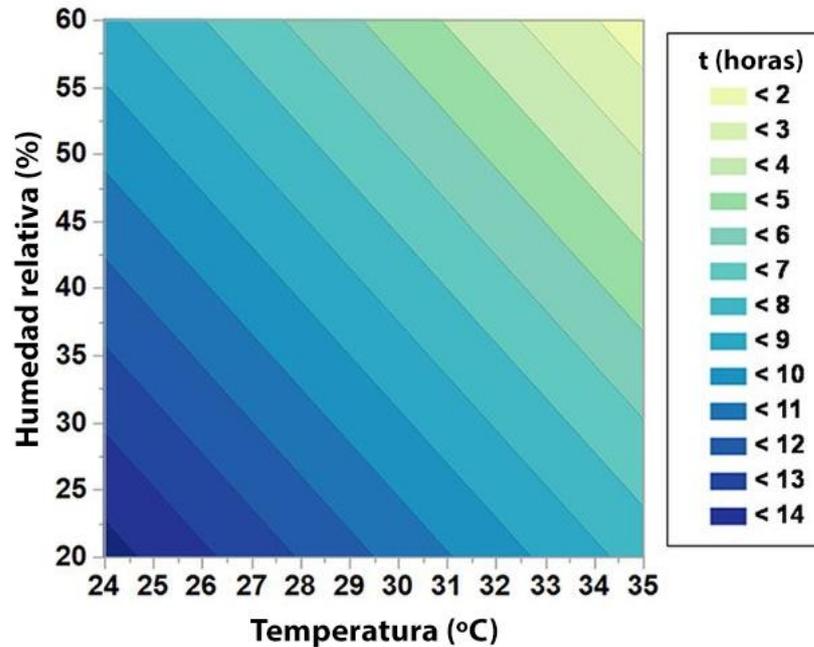


FIGURA 4 - PERSISTENCIA MEDIA DEL SARS-CoV-2 EN DIFERENTES
CONDICIONES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA.
IMAGEN DE ASM JOURNALS.

El análisis de los datos de vida media estimada por ANOVA demostró que tanto la temperatura como la humedad relativa eran factores significativos que influían en la eliminación del virus, como se puede observar en la [Figura 4](#), en la que se advierte un gráfico de contorno donde se estima la persistencia media del virus en cualquier combinación de condiciones de temperatura y humedad relativa (es decir, 20 a 60% de HR y 24 a 35°C) dentro de un espacio genérico, sin incidir en otras variables. Los ensayos realizados en la condición de 80% de humedad relativa no se incluyeron en el modelo, ya que sólo se pudo evaluar el 80% de humedad relativa a 24°C. Aunque los datos indican que la vida media del virus era inversamente proporcional al aumento de la temperatura y la humedad relativa, las estimaciones extrapoladas para las condiciones más allá de las probadas empíricamente pueden no ser válidas (Biryukov et al. 2020).

4.2 Irradiación de los rayos UV y de la luz solar

La Comisión Internacional de la Iluminación (CIE) clasificó la radiación ultravioleta en tres bandas según la longitud de onda: UVC (100-280 nm), UVB (280-315 nm) y UVA (315-400 nm). La luz visible es la región entre los 400 nm y los 780 nm. La UVC se conoce como UV germicida, ya que es absorbida por las bases de ARN y ADN del virus. El potencial germicida de la UVB es de 20 a 100 veces menor que el de la UVC (Perdiz et al. 2000). El ADN y el ARN absorben débilmente los UVA y, por lo tanto, su efecto es mucho menor que el de los UVC y los UVB.

Algunos estudios han investigado el efecto de la radiación ultravioleta artificial (RUV) en los coronavirus. Los resultados más significativos se presentan en la *Tabla 1*. El SARS-CoV-1 se inactivó completamente tras una exposición de 1 hora a una irradiación UVC (260 nm) de $>90 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (Duan et al. 2003). En un estudio comparativo, una exposición de 6 minutos a una irradiación UVC (254nm) de $4.016 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ inactivó completamente 5,5 log del SARS-CoV-1. Sin embargo, 15 min de exposición a una irradiación UVA (365nm) de $2.133 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ no mostraron ninguna eficacia virucida contra este virus (Darnell et al. 2004). Un tercer estudio demostró una reducción de 5,3 y 6,3 log del SARS-CoV-1 tras la exposición a $134 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ de UVC (254) durante 15 y 60 min, respectivamente, sin inactivación completa del virus (Kariwa, Fujii, and Takashima 2006).

Tipo de rayos UV	Irradiancia ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	Dosis inicial (Log10 TCID50)	Tiempo de exposición (min)	Reducción (Log10 TCID50)	Inactivación total	Referencia
UVC (260 nm)	>90	6	60 min	6	Lograda	(Duan et al. 2003)
UVA (365 nm)	2,133	5.5	15 min	0	No lograda	(Darnell et al. 2004)
UVC (254 nm)	4,016	5.5	6 min	5.5	Lograda	(Darnell et al. 2004)
UVC (254 nm)	134	7.5	15 min	5.3	No lograda	(Kariwa, Fujii, and Takashima 2006)
UVC (254 nm)	134	7.5	60 min	6.3	No lograda	(Kariwa, Fujii, and Takashima 2006)

TABLA 1 - EFICACIA DE INACTIVACIÓN DE LOS UVR FRENTE AL SARS-CoV-1.
TRADUCIDA Y MODIFICADA. ABOUBAKR ET AL. (2020)

Se sabe que la radiación óptica del sol es la única fuente natural de radiación ultravioleta que llega a la Tierra a través de la atmósfera. Sin embargo, sólo dos tercios de la energía del sol que incide en la atmósfera penetra hasta el nivel del suelo. La radiación ultravioleta comprende aproximadamente el 5% del total de la radiación recibida en la superficie de la Tierra. Este componente es muy importante en varios procesos biológicos (Solar, 1992).

Basándose en la eficacia virucida de la radiación UV artificial presentada anteriormente, se investigó la correlación entre la irradiación o la luz solar y la propagación de COVID-19. Este estudio de observación reveló que la irradiancia del sol reduce la transmisión del SARS-CoV-2. Por ejemplo, la epidemia de COVID-19 estalló durante el enero más oscuro en más de 10 años en Wuhan (Backer, 2020). No obstante, los datos experimentales disponibles no apoyan esta sugerencia, ya que a pesar de la eficacia virucida notificada de la UVC, su radiación procedente del sol es filtrada completamente por la atmósfera haciendo que no llegue a la superficie terrestre. Además, el 95% de la radiación ultravioleta del sol que llega a la superficie terrestre es UVA (WHO, 2016), que no tiene eficacia virucida. Por otra parte, la UVB del sol penetra y llega parcialmente a la superficie terrestre y se ha informado de su influencia en otros virus.

4.3 Ventilación

Uno de los principales métodos de contagio del SARS-CoV-2 es la transmisión aérea mediante los aerosoles, que son la 'nube' de micropartículas que una persona contagiada expulsa por la nariz y por la boca, especialmente al toser o estornudar, y que sobreviven en el aire durante cierto tiempo, pudiendo llegar a durar horas en una habitación sin ventilación o cualquier tipo de espacio cerrado. Al mismo tiempo también son expulsadas otras partículas llamadas gotículas, que al ser de un tamaño superior vencen la resistencia al aire y caen al suelo en pocos segundos. En la *Figura 5* se aprecia una aproximación de la distancia que pueden alcanzar ambos tipos de partículas. Por cada gotícula exhalada se liberan alrededor de 1.200 aerosoles. El estudio de Van Doremalen et al. (2020) afirma que el virus podría mantenerse en el aire hasta 3 horas en forma de aerosoles, lo que claramente podría llegar a suponer un problema grave en determinados espacios públicos o de reunión entre varias personas. De esta forma, la ventilación pasa a ser uno de los factores fundamentales de cara a la inactivación del virus.

La ventilación controla la rapidez con la que se extrae y reemplaza el aire de un espacio en un período de tiempo, con el objetivo de mantener la calidad del aire en ese espacio. Ésta desempeña un papel fundamental en la eliminación de aire que pueda estar contaminado por un agente patógeno u otros elementos (polvo, humo, etc.), ya que con el proceso de regeneración del aire

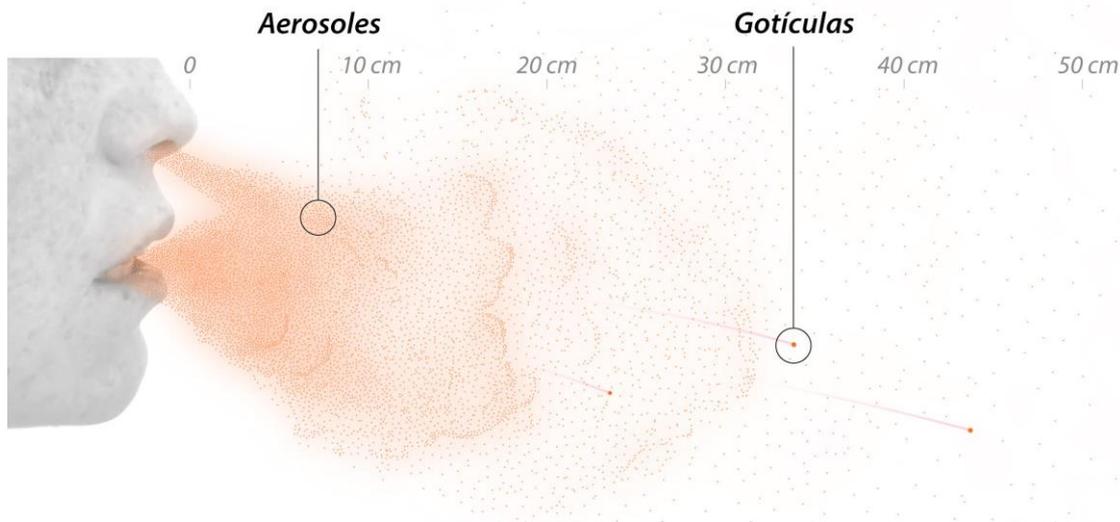


FIGURA 5 - PARTÍCULAS CONTAGIOSAS QUE EXHALA UN ENFERMO.
IMAGEN MODIFICADA DE ELPAIS.COM

se consigue reducir la concentración general del agente y, por consiguiente, toda dosis posterior inhalada por los ocupantes de dicho espacio.

La ventilación natural -a través de la apertura de puertas y ventanas- es la solución más recomendable, tanto por su eficiencia de cara a la eliminación de agentes patógenos como por el ahorro energético y económico que supone. La ventilación cruzada (con ventanas y puertas abiertas en lados opuestos) es la forma óptima de hacerlo, ya que se generan flujos de aire que recorren todas las estancias de un edificio y difícilmente se quedan zonas de aire sucio a las que no haya llegado la ventilación. Sin embargo, en los países que climatológicamente no lo permiten, no se puede recurrir a la ventilación natural todo el año, por lo que se necesitan sistemas de ventilación mecánica, que pueden ser igualmente eficaces para el control de infecciones.

Con el objetivo de prevenir infecciones transmitidas por vía aérea, la OMS recomienda que se aumente la cantidad y calidad del aire exterior que se introduce en el recinto por medios naturales o mecánicos en los centros de salud, con tasas de ventilación mínimas de 160 l/s para salas de prevención de transmisión aérea, con un mínimo de 80 l/s por paciente, 60 l/s por paciente para servicios hospitalarios generales y servicios de consultas externas y 2,5 l/s para pasillos y otras zonas de paso (Kariwa, Fujii, and Takashima, 2006).

	Ventilación mecánica	Ventilación natural	Ventilación híbrida (mixta)
Ventajas	<p>Apropiada para todos los climas y clases de tiempo, con aire acondicionado si el clima lo exige.</p> <p>Ambiente más controlado y cómodo.</p> <p>Menores posibilidades de actuar sobre el ambiente para los ocupantes.</p>	<p>Apropiada para los climas cálidos y templados; si la ventilación natural solo es posible la mitad del tiempo, resulta de menor utilidad.</p> <p>Costos de inversión, funcionamiento y mantenimiento menores para la ventilación natural sencilla.</p> <p>Capaz de lograr tasas de ventilación elevadas.</p> <p>Mayores posibilidades de actuar sobre el ambiente para los ocupantes.</p>	<p>Apropiada para la mayoría de los climas y clases de tiempo.</p> <p>Ahorro energético.</p> <p>Más flexible.</p>
Desventajas	<p>Instalación y mantenimiento costosos.</p> <p>Notificación de fracasos en la obtención del flujo de aire fresco necesario.</p> <p>Riesgo de ruido del equipo.</p>	<p>Fácilmente afectada por el clima exterior o el comportamiento del ocupante.</p> <p>Más difícil de predecir, analizar y diseñar.</p> <p>Incomodidad para los ocupantes cuando hace calor, humedad o frío.</p> <p>No permite establecer presión negativa en zonas de aislamiento, salvo con un diseño adecuado; depende de la situación.</p> <p>Riesgo de intrusión de ruidos externos.</p> <p>La ventilación natural de alta tecnología presenta algunas de las limitaciones e inconvenientes de la ventilación mecánica.</p>	<p>Puede ser costosa.</p> <p>Puede ser más difícil de diseñar.</p>

TABLA 2 – VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE DIFERENTES TIPOS DE SISTEMAS DE VENTILACIÓN EN HOSPITALES.
IMAGEN DE PAHO.ORG

También son importantes otros conceptos dentro del proceso de ventilación, como son la dirección del flujo de aire, que debe ir de las zonas limpias a las zonas sucias, y el modo de distribución del aire, que debe ser por todas partes en el recinto ventilado sin quedarse zonas aisladas, para que la totalidad de los agentes contaminantes sean transportados por el aire y evacuados rápida y eficazmente (Kariwa, Fujii, and Takashima, 2006). Todos estos conceptos se deben tener en cuenta de cara al diseño no solo en hospitales y centros de salud, sino en general en cualquier tipo de espacio compartido como pueden ser tiendas, oficinas, escuelas, guarderías, bibliotecas, restaurantes, ascensores, salas de conferencias o transportes públicos.

A continuación se muestran dos ejemplos en los que se evidencian las diferencias entre recintos con o sin ventilación, aparte de otras medidas de protección.

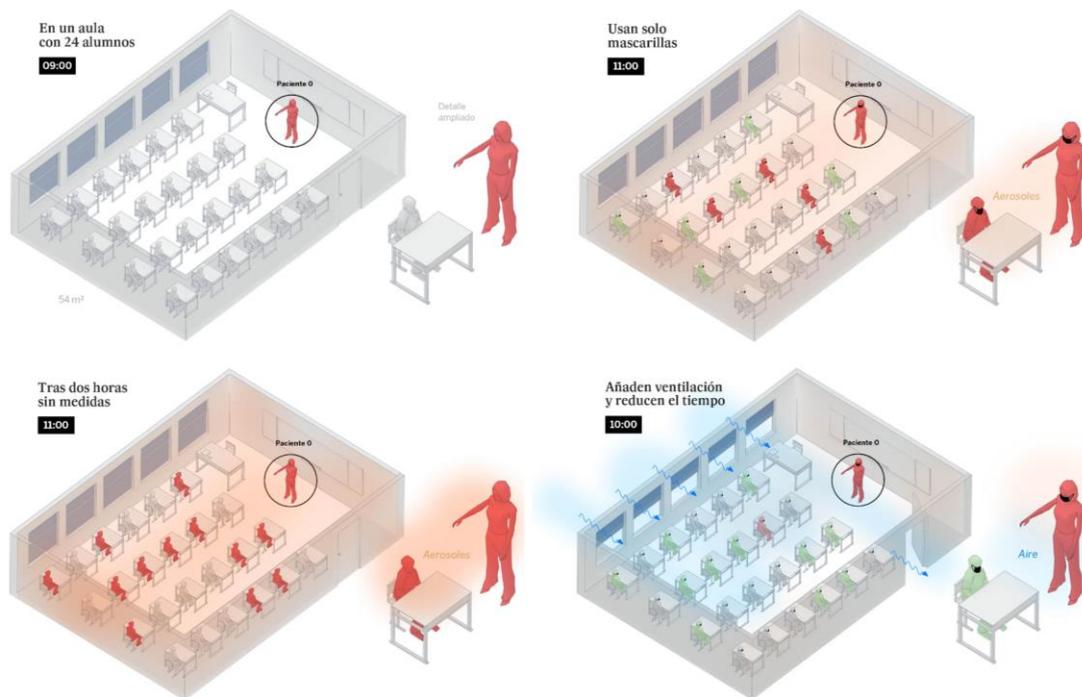


FIGURA 6 - VENTILACIÓN Y CAPACIDAD DE CONTAGIO POR AEROSOLES EN UN AULA.
IMAGEN DE ELPAIS.COM

El CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas) ha elaborado una guía preparada para los colegios (Minguillón et al., 2020), que se fundamenta en buena medida en la elaborada por la Universidad de Harvard. En la *Figura 6* se observa una situación análoga a otra recogida en la guía, donde se observan las diferentes posibilidades de contagio por aerosoles en un aula, según la ventilación en la misma. En la primera escena se observa que el paciente 0 es el profesor y que el aula se encuentra cerrada, sin ningún sistema de ventilación. Trascurrido el tiempo de 2 horas, la probabilidad de contagio alcanzaría hasta a 12 alumnos, suponiendo una tasa de contagio del 50,00%. En el caso de que todos llevaran mascarillas, el número de contagiados se reduciría a 5, con una tasa de contagio del 20,83%. También se observa como la distribución de los contagios en el aula es aleatoria, lo cual se debe a que los aerosoles se acumulan y distribuyen por toda la sala sin ventilar. En la última escena las ventanas y la puerta están abiertas propiciando la ventilación cruzada y el tiempo transcurrido desde el comienzo de la clase es de solo una hora. De esta forma, las posibilidades de contagio se reducen a un único alumno contagiado, disminuyendo la tasa de contagio hasta un 4,17%.

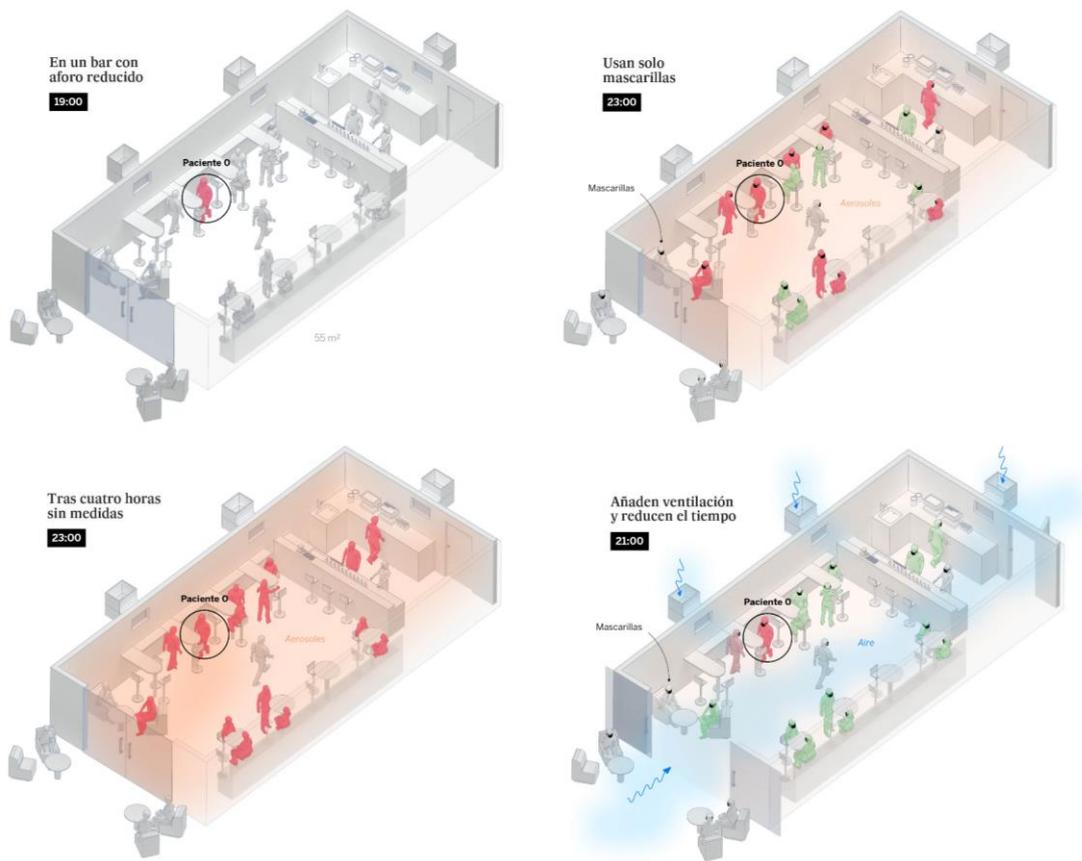


FIGURA 7 - VENTILACIÓN Y CAPACIDAD DE CONTAGIO POR AEROSOL EN UN BAR.
IMAGEN DE ELPAIS.COM

La *Figura 7* se basa en los resultados de un análisis (Chau et al. 2020) sobre el contagio de 12 clientes en un bar de Vietnam. En la primera escena se identifica el paciente 0, que es una de las 18 personas que se encuentran en el recinto. Se aprecia que las puertas y ventanas están cerradas y que la ventilación mecánica no está funcionando. Tras cuatro horas sin medidas, vemos como un total de 14 pacientes han quedado infectados a través de los aerosoles emitidos por el paciente 0, demostrando una tasa de contagio del 82,35%. En el caso de que los integrantes de la sala hubieran usado mascarillas, la probabilidad habría caído hasta los 8 contagios, con una tasa del 47,06%. En la última escena el local está ventilado tanto natural como mecánicamente, y solo han pasado 2 horas desde que las personas están en la sala. En este caso, solo una persona adicional quedaría contagiada y la tasa de contagio caería hasta el 5,88%.

4.4 Conclusiones

Los resultados presentados en las secciones anteriores muestran claramente que la capacidad de los coronavirus para sobrevivir en aerosoles, en superficies, y en suspensiones y líquidos se ve afectada por la temperatura y la humedad relativa. En general, los CoV humanos y animales, incluido el SARS-CoV-2, mostraron más persistencia a baja temperatura y humedad relativa.

Concretamente en el caso del SARS-CoV-2, diferentes estudios han coincidido en que las mejores condiciones climáticas para su estabilidad son una temperatura de unos 4-5°C, una humedad relativa baja y una presión atmosférica alta. La falta de ventilación y de iluminación en los recintos en los que se encuentre el virus también propician su aparición. Aunque se ha demostrado que los rayos UVC influyen en la estabilidad del virus, los que son emitidos de forma natural por el sol no llegan a afectarle al ser absorbidos por la atmósfera. Aun así, existen aparatos que emiten estos rayos de forma artificial y estos sí que han demostrado eficacia de cara a la eliminación del SARS-CoV-2. En definitiva, estos resultados indican que su propagación podría estar asociada estacionalmente con el invierno y que podría ser más fácil controlar la propagación del virus durante los meses de verano debido a la alta temperatura y humedad de esos meses.

El SARS-CoV-2 es susceptible a una humedad relativa muy alta y a una temperatura por encima de los 30°C, que son condiciones atmosféricas que distan mucho de las de confort de los ocupantes en un recinto interior, por lo tanto se han de buscar otros métodos para la eliminación del virus en este tipo de ambientes.

Por otra parte, se ha demostrado que la ventilación es esencial para la eliminación del virus y para que las posibilidades de que aparezca sean las mínimas posibles. Siempre que se pueda y sea suficiente, lo más recomendable es el uso de la ventilación natural, mediante la cual se debe tratar de conseguir flujos de aire por el interior de cualquier estancia, especialmente en las zonas de los aseos, que es donde el virus tiene más probabilidades de aparecer. En casos de sistemas de ventilación mecánicos, se debería aumentar los horarios de funcionamiento de los sistemas de climatización y en los espacios públicos de reunión o los muy concurridos (escuelas, oficinas, etc.), se aconseja abandonar la estancia de trabajo cada intervalo de tiempo de 2 a 3 horas para que el aire pueda ser renovado completamente.

5. Persistencia del virus sobre la superficie de diferentes materiales

El análisis que se va a realizar sobre la estabilidad e infectividad del coronavirus sobre las superficies está basado principalmente en tres estudios.

El primero fue elaborado por Chin et al. (2020), y se centra principalmente en el comportamiento del SARS-CoV-2 ante diferentes condiciones climáticas y sobre diferentes superficies: papel, madera, tela, vidrio, acero inoxidable y plástico, entre otros.

El segundo estudio, llevado a cabo por Van Doremalen et al. (2020), realiza una investigación similar, pero también complementa la información con una comparativa de los resultados con los del SARS-CoV-1 y otros virus similares, aprovechando para ello información de otros estudios previos llevados a cabo por los mismos autores. Los materiales analizados son el cobre, el cartón, el acero inoxidable y el plástico.

Por otra parte aparece el estudio de Riddell et al. (2020), que también profundiza más en el SARS-CoV-2, profundizando más en determinados aspectos, por ejemplo, determinando las tasas de supervivencia del virus a diferentes temperaturas (20°C, 30°C y 40°C). En este estudio se utilizaron como sustratos billetes de polímero, billetes de papel, acero inoxidable, vidrio, vinilo y tela de algodón. El experimento se realiza en la oscuridad para evitar la interferencia de los rayos UV en los resultados.

En algunos casos se complementa la información con otros estudios previos, en los que se analiza el SARS-CoV-1, el MERS-CoV y otros virus de proveniencia y composición similar.



FIGURA 8 - APLICACIÓN DE GOTAS DE SARS-CoV-2 EN MUCOSA ARTIFICIAL SOBRE DISTINTAS SUPERFICIES EN EL CENTRO AUSTRALIANO DE PREPARACIÓN PARA ENFERMEDADES. IMAGEN DE CSIRO.AU

5.1 Plásticos

En el día a día nos encontramos que el uso de los diferentes tipos de plástico es cada vez más predominante, siendo empleado tanto en diferentes tipos de mobiliario como en materiales de construcción. Concretamente el vinilo también es asiduamente utilizado en las pantallas táctiles de los dispositivos electrónicos, algo que puede suponer una fuente potencial de transmisión, ya que son superficies de alto contacto que, a diferencia de las manos, no suelen limpiarse de una forma tan regular.

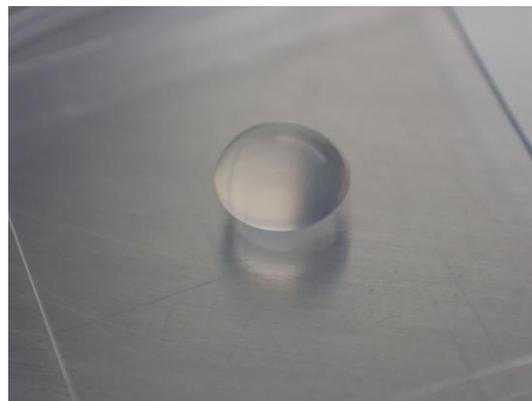


FIGURA 9 - SARS-CoV-2 SOBRE VINILO.
IMAGEN DE CSIRO.AU

En el estudio de Chin et al. (2020), el virus conservó su infectividad durante 4 días pero se descompuso completamente después de 7 días. La prueba fue realizada a temperatura ambiente (25°C) y con una HR del 65%. La investigación de Van Doremalen et al. (2020) demostró que el SARS-CoV-2 mantuvo su infectividad durante 3 días en la superficie de plástico a temperatura ambiente. En este mismo también se comparó su persistencia con la del SARS-CoV-1, sin detectarse diferencias significantes. Ambos virus perdieron completamente su infectividad después de 4 días. En ambos estudios, la capacidad de supervivencia del virus en la superficie del plástico se ve drásticamente afectada por el aumento de la temperatura y la humedad relativa.

En el estudio de Riddell et al. (2020) se analiza la estabilidad del virus en una superficie de vinilo. El experimento se lleva a cabo a diferentes temperaturas, siempre con una humedad relativa del 50% y con una carga vírica inicial de entre 5,5 y 6 log TCID₅₀ (Tissue culture infectious dose 50%)¹. A los 20°C, el virus llegó a persistir en la superficie hasta 28 días después con una carga de aproximadamente 1 log TCID₅₀, superior a los 0,8 log TCID₅₀, que es el límite de detección del virus. Con 30°C de temperatura, el virus tardó 10 horas en inactivarse al 90% y solamente 3 horas con 40°C.

En comparación con el SARS-CoV-1 y el SARS-CoV-2, se ha demostrado una supervivencia un poco más corta en plástico para el MERS-CoV y el HCoV-229E (coronavirus humano 229E) a temperatura ambiente. Ambos conservaron su infecciosidad solamente hasta un máximo de 2 días y se inactivaron completamente después de 3 días. Sin embargo, en otro estudio, el HCoV-229E

¹ TCID₅₀ es la dosis de virus capaz de infectar al 50% de cultivos utilizados. Es el método de cuantificación utilizado con más frecuencia y, aunque no representa a un número concreto de partículas virales, muestra la capacidad de infección del virus.

mostró una mayor persistencia (5 días) en el policloruro de vinilo (PVC) y el politetrafluoroetileno (Teflón) a 21°C y 30%-40% de humedad relativa (G. Kampf, 2020).

Otro estudio descubrió que la infecciosidad del HCoV-229E era detectable en el caucho de silicio a temperatura ambiente y entre el 30% y el 40% de humedad relativa durante 3 días y que el virus se volvió indetectable después de 5 días (Warnes, Little, and Keevil 2015).

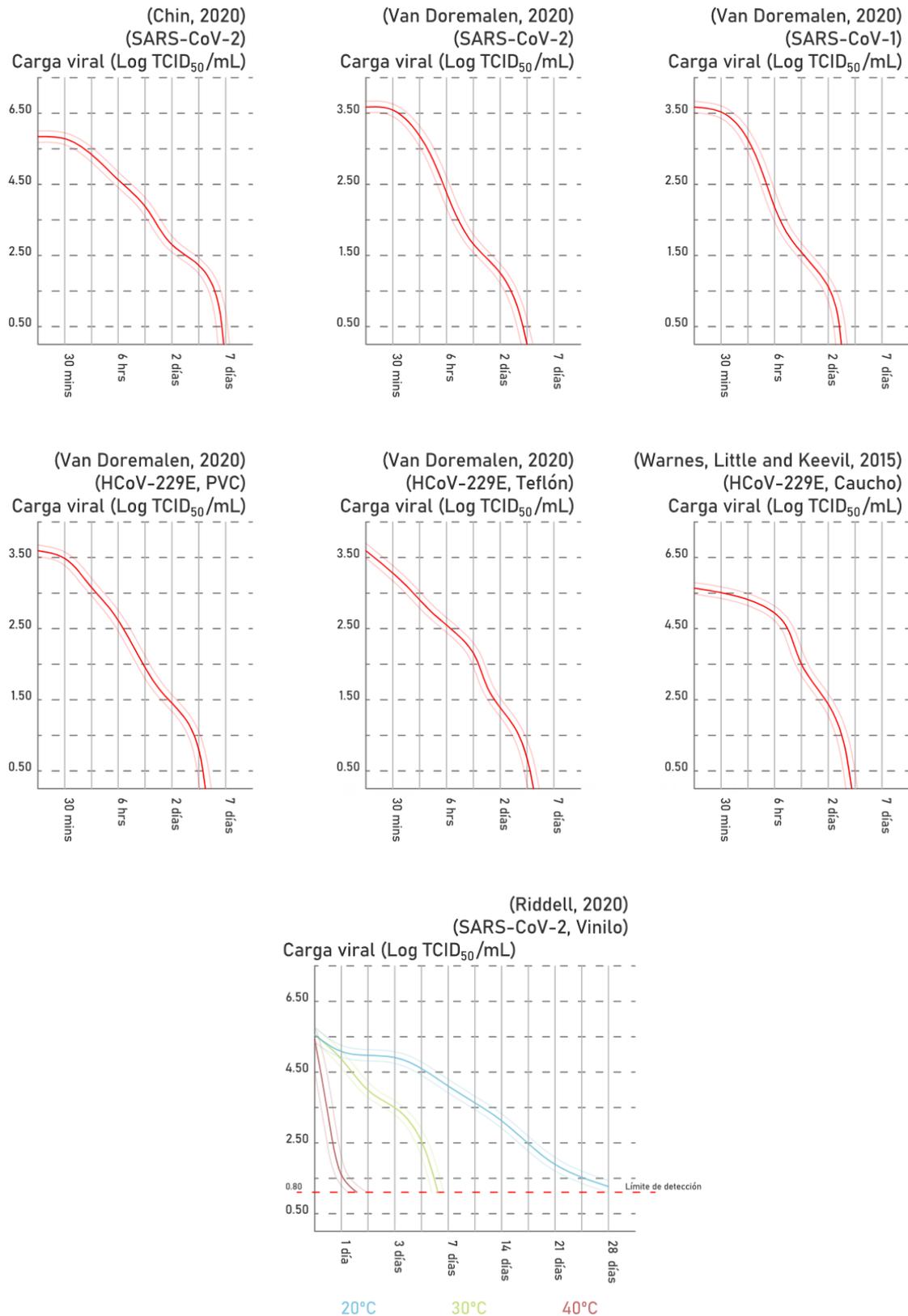


FIGURA 10 - PERSISTENCIA DEL SARS-CoV-2 Y DE OTROS VIRUS SOBRE PLÁSTICOS. ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE LOS ESTUDIOS CITADOS.

5.2 Metales

El acero inoxidable es una superficie común en áreas de cocina (grifería, cubiertos, sartenes y ollas, etc.), en manivelas de puertas, revestimientos de ascensores, barandillas e instalaciones públicas.

El estudio de Chin et al. (2020) revela que el SARS-CoV-2 persistió durante 4 días en la superficie de acero inoxidable y que se hizo indetectable después de 7 días, con una carga inicial de 5,5 log TCID₅₀. En la investigación de Van Doremalen et al. (2020), con una carga inicial más baja (3,6 log TCID₅₀), el virus retuvo su infecciosidad durante 3 días y se inactivó completamente después de 4 días en acero inoxidable a temperatura ambiente y con una humedad relativa del 65%. Riddell et al. (2020) demostraron que el SARS-CoV-2 es extremadamente estable en esta misma superficie a temperatura ambiente (20°C, humedad relativa del 50%), siendo también detectable pasados 28 días. Sin embargo, se volvió más inestable a temperaturas más elevadas. Por otra parte, se determinó que si la temperatura descendiera de 6,38°C, el virus podría perdurar hasta más de 64 días. Por lo tanto, estos datos podrían proporcionar una explicación razonable para los brotes de COVID-19 que rodean las instalaciones de procesamiento de carne y almacenamiento en frío.

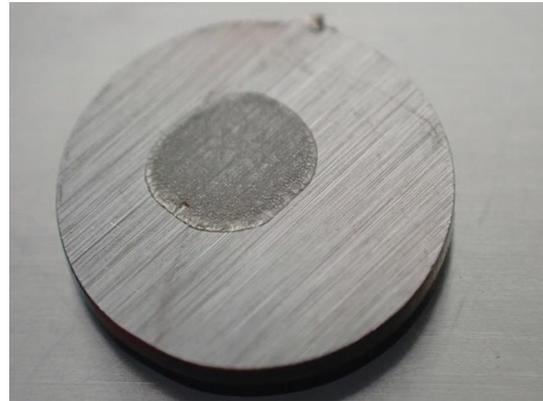


FIGURA 11 - SARS-CoV-2 SOBRE ACERO
INOXIDABLE.
IMAGEN DE CSIRO.AU

Los datos disponibles demostraron que la supervivencia de los coronavirus en las superficies metálicas difiere según el tipo de metal. En general, los coronavirus sobreviven durante períodos más cortos en el cobre, el cobre-níquel y el latón que en las superficies de acero inoxidable y zinc. Por ejemplo, el SARS-CoV-1 persistió en el cobre durante 8 horas, es decir, 6 veces menos tiempo que en el acero inoxidable. También el HCoV-229E mostró una menor persistencia en el latón (de 10 min a 2 horas) y en el cobre-níquel (de 20 min a 1 hora) que en el acero inoxidable (5 días) a temperatura ambiente y con una humedad relativa del 30%-40%. La reducción de la persistencia del virus fue proporcional al aumento del contenido de cobre en el latón y el cobre-níquel. De esta forma se observa que el cobre tiene una actividad viricida mayor que la que muestran otros metales.

Teniendo en cuenta estudios realizados anteriormente sobre otros tipos de coronavirus, se aprecian algunas diferencias. Por ejemplo, el SARS-CoV-2 mostró una supervivencia menor en el cobre (4 horas) que el SARS-CoV-1 (8 horas). Algunos coronavirus mostraron una estabilidad similar en la misma superficie, como el MERS-CoV y el SARS-CoV-1; ambos mantuvieron su

capacidad de infectividad hasta 2 días en la superficie de acero inoxidable a temperatura ambiente (N. van Doremalen, Bushmaker, and Munster 2013; Neeltje Van Doremalen et al. 2020).

Comparando estos resultados se evidencia que el cobre tiene un mejor comportamiento de cara a la eliminación del virus, por lo que podría ser una buena elección para elementos táctiles, por ejemplo, pomos de las puertas, barandillas, lavabos, etc.

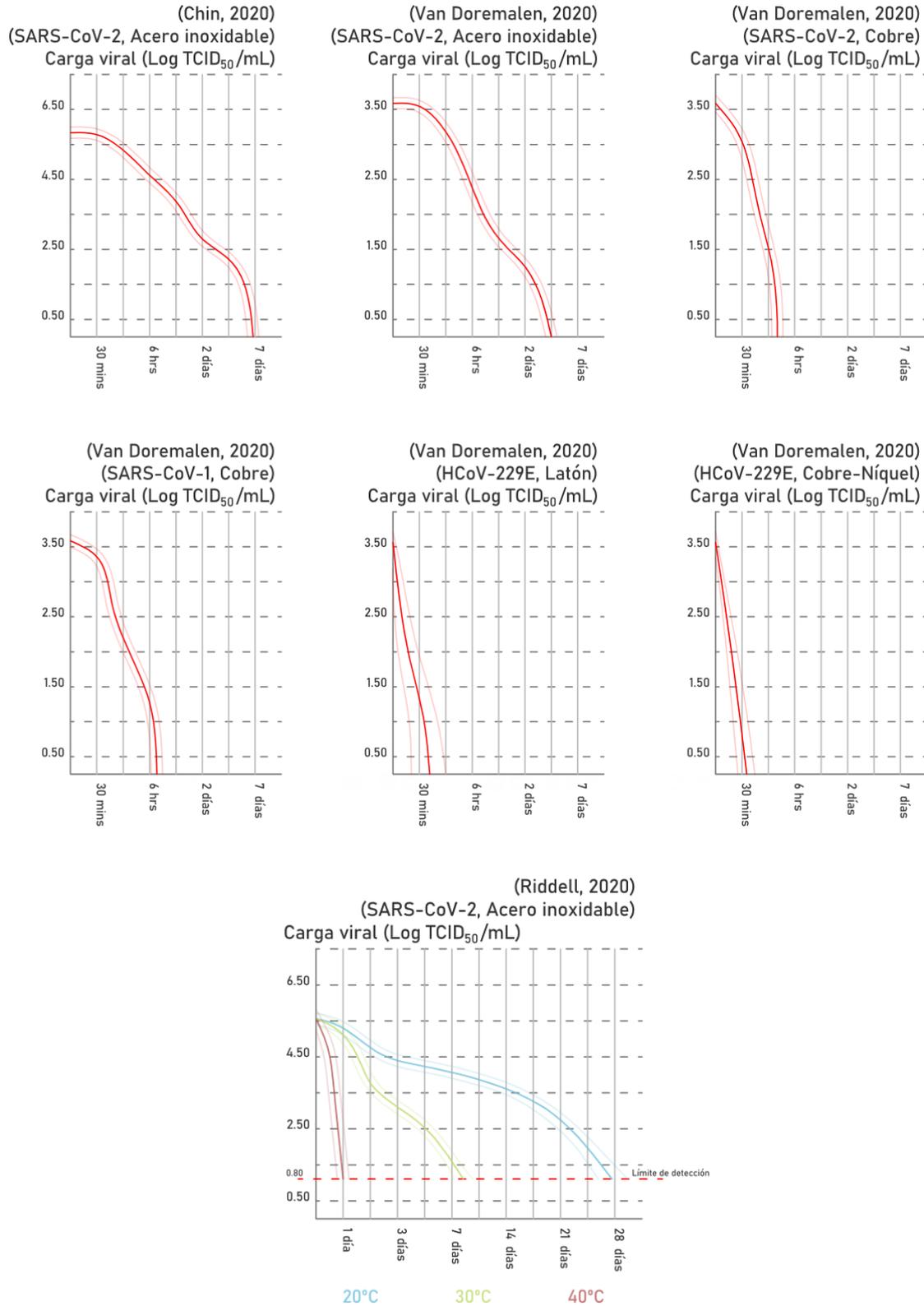


FIGURA 12 - PERSISTENCIA DEL SARS-CoV-2 Y DE OTROS VIRUS SOBRE METALES. ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE LOS ESTUDIOS CITADOS.

5.3 Vidrios y cerámicos

El vidrio es uno de los materiales más utilizados en zonas públicas, tanto en el mobiliario de zonas públicas como pueden ser escuelas y hospitales como en las ventanillas de los diferentes transportes públicos y los centros comerciales, así como también en las superficies de alto contacto como móviles, cajeros automáticos, ordenadores y dispositivos electrónicos en general, que además, a diferencia de las manos, no se limpian regularmente.

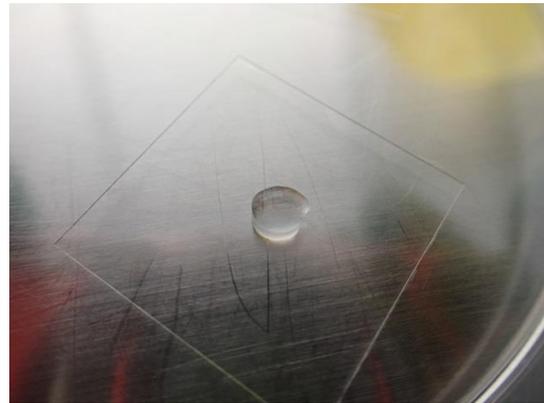


FIGURA 13 - SARS-CoV-2 SOBRE VIDRIO.
IMAGEN DE CSIRO.AU

En el estudio de Chin et al. (2020), la supervivencia del SARS-CoV-2 se probó a temperatura ambiente sobre vidrio y con una humedad relativa del 65%. El virus perdió su infectividad pasados los primeros 2 días y se volvió completamente indetectable después de 4 días. En comparación, el SARS-CoV-1 conservó su infecciosidad durante más tiempo (4 días) a temperatura ambiente y se descompuso completamente después de 5 días.

Riddell et al. (2020) analizaron la estabilidad del virus en una superficie de vidrio. El experimento se lleva a cabo a diferentes temperaturas, siempre con una humedad relativa del 50% y con una carga vírica inicial de entre 5,5 y 6 log TCID₅₀. A los 20°C, el virus llegó a persistir en la superficie hasta 28 días después con una carga de aproximadamente 1 log TCID₅₀, superior a los 0,8 log TCID₅₀, que es el límite de detección del virus. Con 30°C de temperatura, el virus tardó 10 horas en inactivarse al 90% y solamente 3 horas con 40°C.

Duan et al. (2003) estudiaron la estabilidad del SARS-CoV-1 sobre la cerámica a temperatura ambiente y los resultados obtenidos fueron similares a los del vidrio (sobrevivió durante 3 días y se descompuso después de 4 días). También el HCoV-229E sobrevivió durante 5 días en superficies de vidrio o cerámica a temperatura ambiente. No se informó del tiempo necesario para la inactivación completa de este virus en ambas superficies (Warnes et al. 2015).

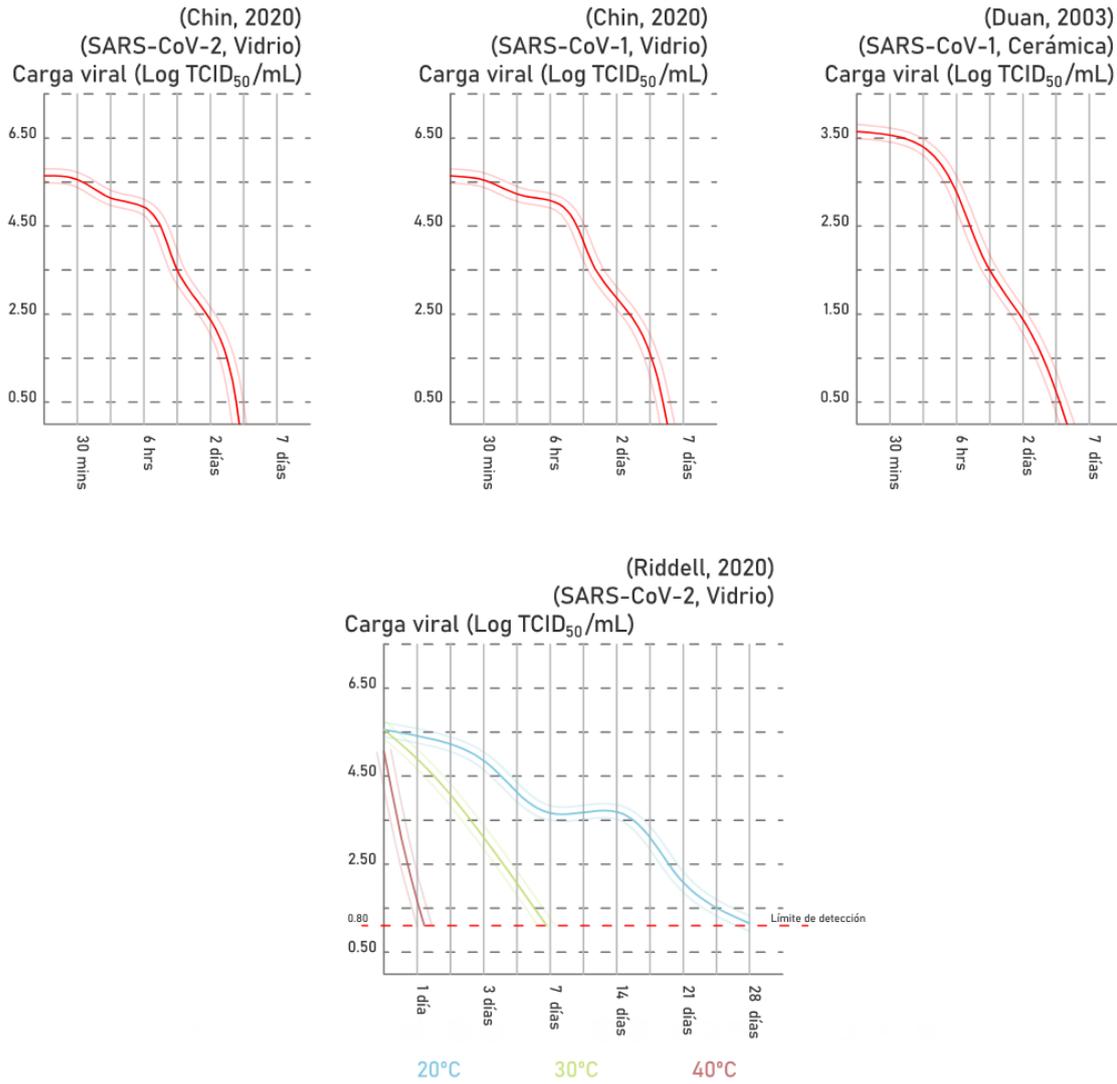


FIGURA 14 - PERSISTENCIA DEL SARS-CoV-2 Y DE OTROS VIRUS SOBRE VIDRIOS Y CERÁMICOS. ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE LOS ESTUDIOS CITADOS.

5.4 Madera

La madera tiene múltiples usos en la arquitectura. La podemos encontrar como revestimiento de todo tipo de superficies y cerramientos y también como material predominante en mobiliario y carpinterías en general (armarios, mesas, sillas, puertas, etc.). Los productos de madera pueden haber sido tratados de muchas maneras diferentes, por lo que entra en juego un amplio rango de variables de cara a conocer la persistencia de microorganismos sobre su superficie.

Duan et al. (2003) investigaron la estabilidad del SARS-CoV-1 sobre una superficie de madera (sin especificar cuál). Con una carga viral de aproximadamente 5 log TCID₅₀/ml y a temperatura ambiente, el virus persistió durante 4 días sobre la misma.

Chin et al. (2020) también estudiaron la persistencia, esta vez del SARS-CoV-2 actual, sobre madera. La carga viral inicial era un poco más elevada (5.66 log TCID₅₀/ml), siendo las condiciones climáticas 22°C de temperatura y 65% de humedad relativa. En este caso se dejó de detectar infecciosidad por parte del virus a partir del segundo día.

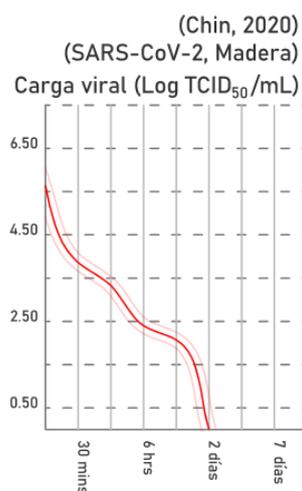


FIGURA 15 – PERSISTENCIA DEL SARS-CoV-2 SOBRE MADERA.
ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DEL ESTUDIO DE CHIN ET AL. (2020)

5.5 Cales y cementos

Actualmente no existen estudios sobre la persistencia del SARS-CoV-2 sobre superficies de cal, morteros u hormigones. Lo que si que se sabe de estos materiales es que suelen tener una composición química con niveles de pH elevados (alcalinos), que si que alteran la estabilidad del virus, como se muestra en el apartado 5.8.

La cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), se obtiene mediante el tratamiento del óxido de calcio con agua y se utiliza para preparar morteros y tiene un pH aproximado de 12,5, que es la razón por la que este material a menudo se recomienda como desinfectante.

En el caso de los cementos Portland, esto se debe a la presencia de portlandita, que es un tipo de hidróxido de calcio con un pH muy elevado, que hace que la composición final del clínker obtenga niveles de pH que rondan los 13, de forma que el nivel de pH final del cemento oscile entre los 12 y 13.

Como estimación y sin haber sido sometidos a experimento, se puede esperar que las cales y los cementos tengan un buen comportamiento de cara a la inactivación del SARS-CoV-2 y de otros virus y microorganismos.



FIGURA 17 - CAL HIDRATADA $\text{Ca}(\text{OH})_2$ EN POLVO.
IMAGEN DE JARDINERIAON.COM

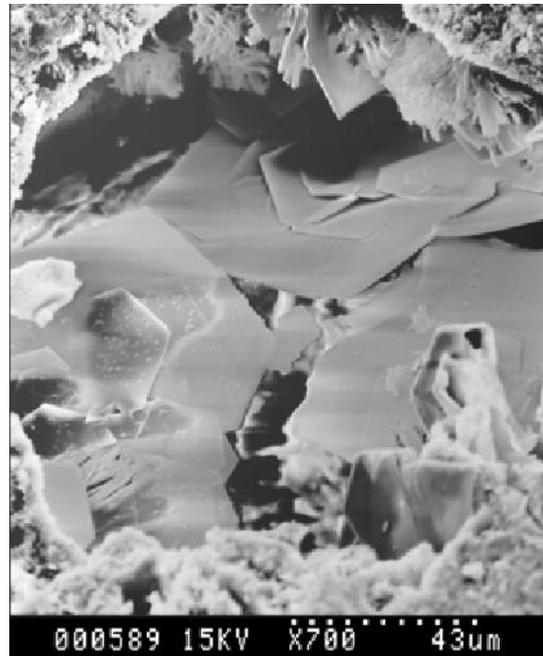


FIGURA 16 - CRISTALES DE PORTLANDITA VISTOS EN
EL MICROSCOPIO.
IMAGEN DE RESEARCHGATE.NET

5.6 Textiles

Se ha estudiado el algodón como sustrato poroso, que a menudo se encuentra en la ropa, la ropa de cama y las telas para el hogar. Se ha demostrado que la persistencia del SARS-CoV-2 en el algodón es significativamente más corta que en las superficies no porosas.

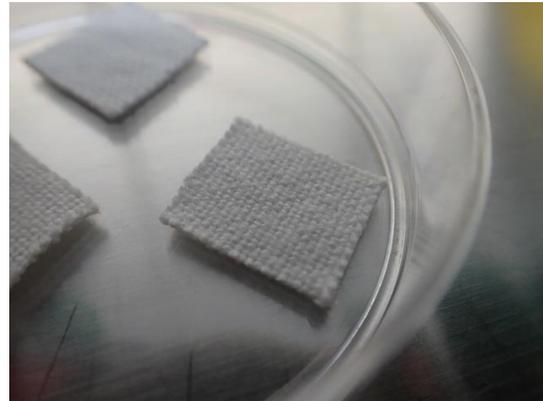


FIGURA 18 - SARS-CoV-2 SOBRE ALGODÓN.
IMAGEN DE CSIRO.AU

Los datos presentados por Riddell et al. (2020) muestran una disminución significativa de la carga vírica después de sólo 1 hora a temperatura ambiente (20 °C). Para verificar la reducción de la carga vírica en el algodón, ésta fue analizada 5 minutos después y una hora después de depositarse en el algodón. Se demostró que la reducción tras los primeros 5 minutos ya era considerable, lo que sugiere que el proceso de secado fue un factor significativo para el material de algodón pero no para las superficies no porosas, probablemente debido a la adhesión del virus a las fibras del tejido.

La investigación de Chin et al. (2020) demuestra tiempos de supervivencia significativamente más largos en el algodón (7 días) que los reportados anteriormente. Esta diferencia podría deberse a las diferencias en los tipos de material de algodón utilizados, el estudio actual utilizó tela de algodón 100%, mientras que los estudios anteriores utilizaron una bata o camiseta de algodón.

Por otra parte, en la investigación de Chin et al. (2020) también se analizó la estabilidad del virus en las mascarillas quirúrgicas. Su capacidad de supervivencia en las capas internas y externas de las mascarillas fue de 4 y 7 días, respectivamente. También se analizó la persistencia en tela y billetes, que fue de aproximadamente 1 día, con inactivación completa 1 día después.

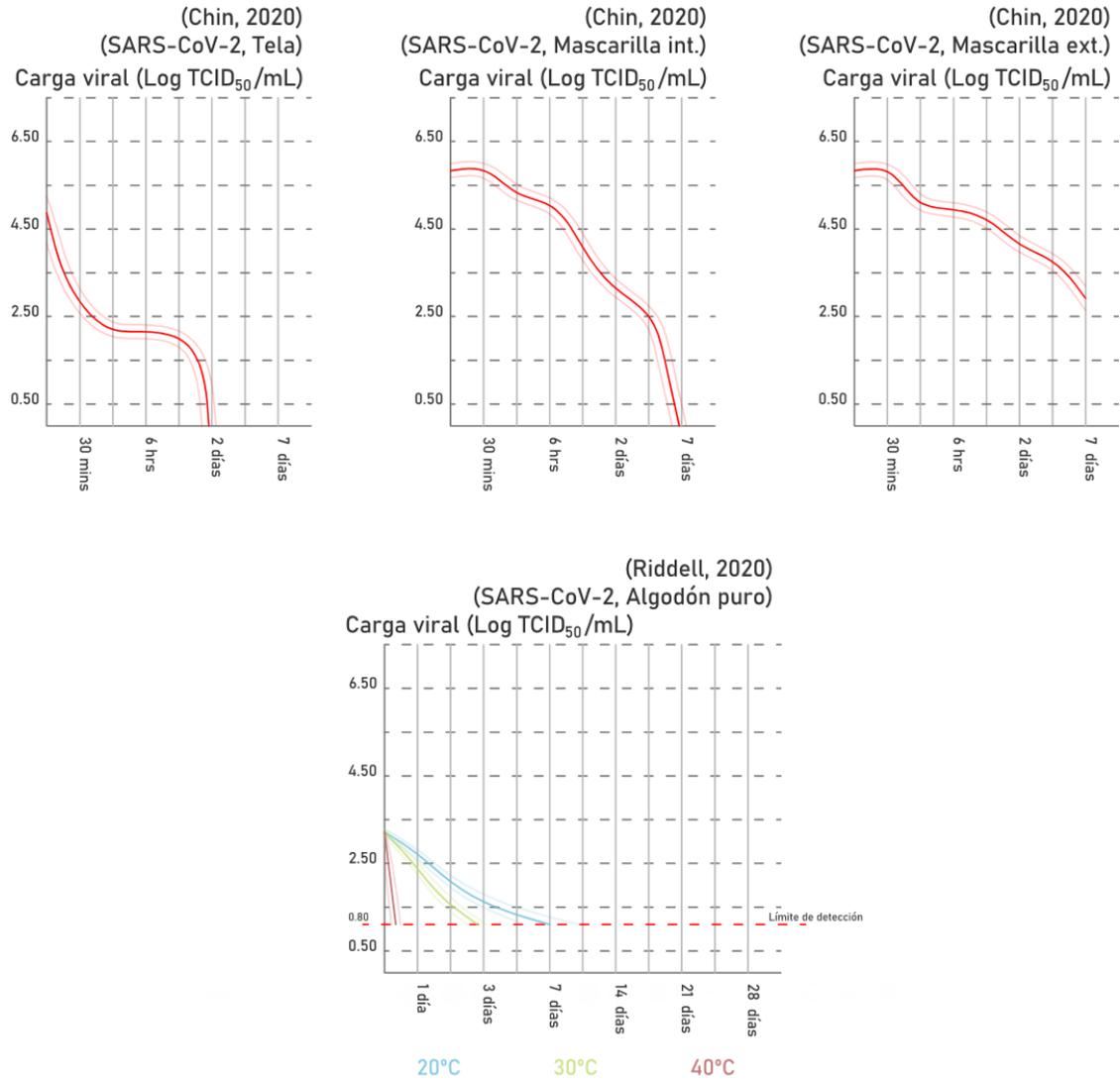


FIGURA 19 - PERSISTENCIA DEL SARS-CoV-2 SOBRE TEXTILES.
ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE LOS ESTUDIOS CITADOS.

5.7 Papel, billetes de papel y polímero

Se estudió la capacidad de supervivencia del SARS-CoV-2 sobre billetes de polímero y de papel. Es de particular importancia conocer su persistencia sobre estos materiales considerando la frecuencia de circulación y el potencial de transferencia de virus tanto entre individuos como entre diferentes lugares geográficos.

El virus sobrevivió durante sólo 30 minutos en papel con inactivación completa antes de las 3 horas, según el estudio de Chin et al. (2020). Sobre la superficie del papel de seda se obtuvieron resultados muy similares. En el de Van Doremalen et al. (2020), el SARS-CoV-1 sobrevivió sólo 8 horas sobre cartón en las mismas condiciones.

Los datos obtenidos por Riddell et al. (2020) demuestran que el virus persiste tanto en los billetes de papel como en los de polímero hasta por lo menos 28 días a 20°C, aunque hubo menos de 1 log TCID₅₀ de virus a partir de los 14 días. A la temperatura de 30°C, el virus se inactivó después de 7 días, mientras que a 40°C solamente tardó un máximo de 2 días. La tasa de inactivación más rápida en los billetes de polímero.

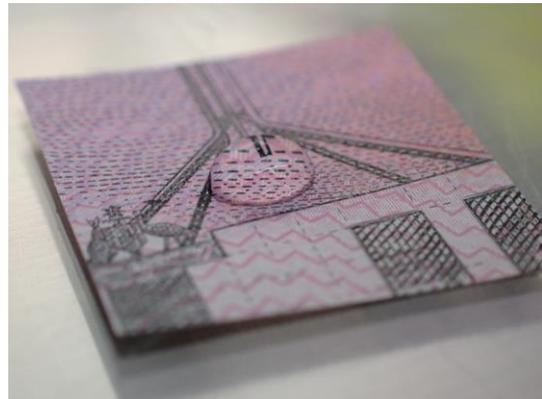


FIGURA 20 - SARS-CoV-2 SOBRE BILLETE AUSTRALIANO DE POLÍMERO. IMAGEN DE CSIRO.AU



FIGURA 21 - SARS-CoV-2 SOBRE BILLETE DE PAPEL. IMAGEN DE CSIRO.AU

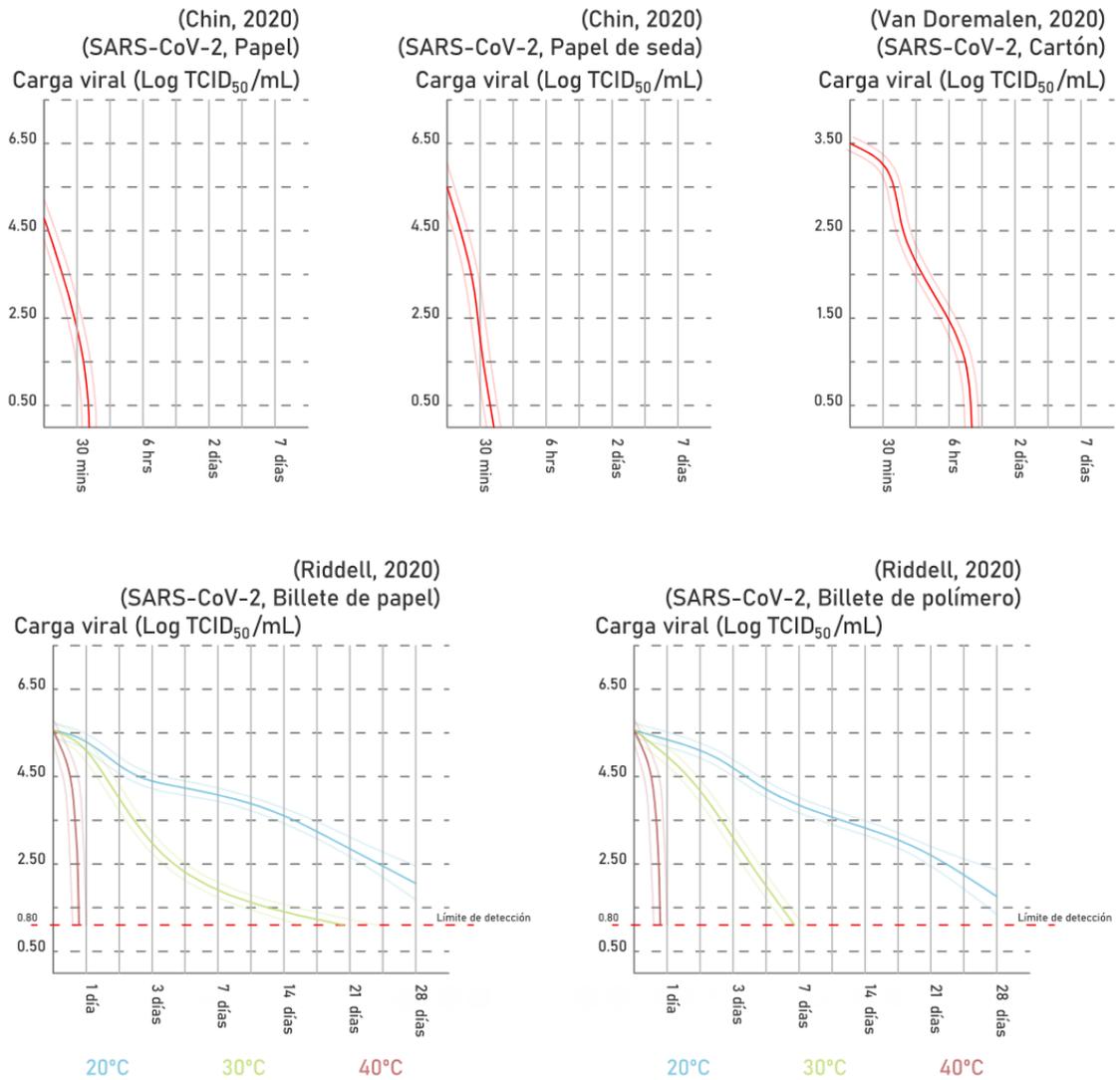


FIGURA 22 - PERSISTENCIA DEL SARS-CoV-2 Y DE OTROS VIRUS SOBRE PAPEL Y BILLETES. ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE LOS ESTUDIOS CITADOS.

5.8 Influencia del pH

En general, se ha comprobado que los CoV son más estables a un pH casi neutro en comparación con los extremos ácido y alcalino. En el estudio de Darnell et al. (2004), el SARS-CoV-1 perdió completamente su infectividad después de 1 hora de exposición al pH más ácido (1 y 3) y al pH más alcalino (12 y 14), independientemente de la temperatura (4°C, 25°C y 37°C). Sin embargo, en los pH 5, 7 y 9 el virus conservó su infecciosidad en el mismo período de tiempo.

A diferencia de otros CoV, el SARS-CoV-2 mostró una mayor estabilidad cuando se incubó a temperatura ambiente en el medio durante una hora en un amplio rango de valores de pH (pH 3-10) (Chin et al. 2020), con lo que se explica la alta tasa de propagación del SARS-CoV-2 en comparación con otros coronavirus humanos como el SARS-CoV-1 y el MERS-CoV.

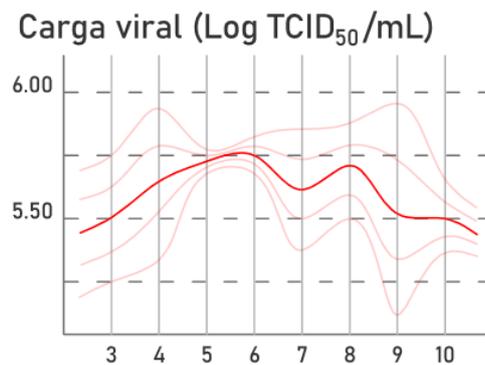


FIGURA 23 - ESTABILIDAD DEL SARS-CoV-2 SEGÚN EL PH.
ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DEL ESTUDIO DE CHIN ET AL. (2020)

5.9 Persistencia de otros virus sobre distintos materiales

Superficie	Virus	Carga viral (log TCID ₅₀ /ml)	Temperatura	Persistencia
Acero	MERS-CoV	5	20°C	48 h
			30°C	8-24 h
	TGEV	6	4°C	≥ 28 d
			20°C	3-28 d
			40°C	4-96 h
	MHV	6	4°C	≥ 28 d
			20°C	4-28 d
40°C			4-96 h	
HCoV	3	21°C	5 d	
Aluminio	HCoV	3,7	21°C	2-8 h
Metal	SARS-CoV-1	5	RT	5 d
Madera	SARS-CoV	5	RT	4 d
Papel	SARS-CoV	5	RT	4-5 d
	SARS-CoV	6	RT	24 h
		5		3 h
		4		< 5 min
Vidrio	SARS-CoV	5	RT	4 d
	HCoV	3	21°C	5 d
Plástico	SARS-CoV	5	22°-25°C	≤ 5 d
	MERS-CoV	5	20°C	48 h
		5	30°C	8-24 h
	SARS-CoV	7	RT	4 d
	SARS-CoV	7	RT	6-9 d
HCoV	7	RT	2-6 d	
PVC	HCoV	3	21°C	5 d
Goma de silicona	HCoV	3	21°C	5 d
Látex	HCoV	3,7	21°C	≤ 8 h
Bata desechable	SARS-CoV	6	RT	24 h
		5		
		4		
Cerámica	HCoV	3	21°C	5 d
Teflón	HCoV	3	21°C	5 d

MERS = Síndrome Respiratorio del Medio Oriente; HCoV = coronavirus humano; TGEV = virus de la gastroenteritis transmisible; MHV = virus de la hepatitis de los ratones; SARS = síndrome respiratorio agudo severo; TA = temperatura ambiente

TABLA 3 – PERSISTENCIA DE OTROS VIRUS SOBRE LA SUPERFICIE DE DISTINTOS MATERIALES
TABLA MODIFICADA DEL ESTUDIO DE KAMPF (2020)

5.10 Cuadro resumen

Material investigado	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Dosis inicial (TCID ₅₀ /ml)	Tiempo de inactivación	Inactivación total	Referencia
Papel	22	65	4.76	30 min - 3 h	Lograda	(Chin et al. 2020)
Papel de seda	22	65	5.48	30 min - 3 h	Lograda	
Madera	22	65	5.66	2 días	Lograda	
Tela	22	65	4.84	2 días	Lograda	
Vidrio	22	65	5.83	2-4 días	Lograda	
Acero inoxidable	22	65	5.5	7 días	Lograda	
Plástico	25	65	5.81	7 días	Lograda	
Mascarilla (cara interna)	22	65	5.88	7 días	Lograda	
Mascarilla (cara externa)	22	65	5.78	-	No lograda	
Cobre	21-23	40	3.6	4 h	Lograda	(Van Doremalen et al. 2020)
Cartón	21-23	40	3.6	24 h	Lograda	
Acero inoxidable	21-23	40	3.6	2 días	Lograda	
Plástico	21-23	40	3.6	3 días	Lograda	
Acero inoxidable	20	50	4.97	6 días	90%	(Riddell et al. 2020)*
Vidrio	20	50	4.97	6 días	90%	
Algodón	20	50	4.97	6 días	-	
Vinilo	20	50	4.97	6 días	90%	
Billete de polímero	20	50	4.97	7 días	90%	
Billete de papel	20	50	4.97	9 días	90%	
*En el estudio de Riddell et al. (2020), los valores que se dan son cuando la inactivación está completada solo al 90%. Se calcula que para la inactivación completa, se necesitarían al menos 28 días para las superficies de vidrio, acero, vinilo y billetes de papel y polímero, mientras que solo se necesitarían unos 14 días para la inactivación del algodón.						

TABLA 4 - CUADRO RESUMEN DE LAS CONCLUSIONES DE LOS ESTUDIOS DE CHIN ET AL (2020), VAN DOREMALEN ET AL. (2020) Y RIDDELL ET AL. (2020)
ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE LOS ESTUDIOS CITADOS.

5.11 Conclusiones

En primer lugar, se observa que algunos resultados varían de forma considerable de un estudio a otro. Por ejemplo, Riddell et al. (2020) afirman que hasta la inactivación completa del virus sobre las superficies del vidrio y el acero tiene que transcurrir un mínimo de 28 días mientras que, según Chin et al. (2020), donde las soluciones ensayadas presentan una carga viral similar, el tiempo de inactivación del virus sobre el vidrio es de 4 días y sobre el acero de 7 días.

La diferencia de resultados entre unos estudios y otros se puede deber a las condiciones atmosféricas del recinto en el que ha sido realizado el experimento. Por ejemplo, como se dijo anteriormente, en el tercer estudio optan por mantener las muestras en un lugar oscuro durante todo el ensayo de modo que no interfieran los rayos UV, solares, ni ningún tipo de irradiación. Esto, por una parte, puede explicar que la persistencia del virus se vea incrementada. Por otra parte, también se debe tener en cuenta el medio líquido en el que se incorpora la carga viral, que según el compuesto que sea puede adquirir una mayor tolerancia y capacidad de supervivencia u otra inferior.

En general se ha observado que el SARS-CoV-2 se mantiene bastante estable sobre superficies de plástico y acero inoxidable, pudiendo mantenerse infeccioso en ambas superficies entorno a 3-4 días. También los vidrios y cerámicos han manifestado unos tiempos de supervivencia similares, 2-4 días y 3 días, respectivamente, aunque en el caso del material cerámico el ensayo se realizó con el SARS-CoV-1. Por el contrario, el cobre es el material que ha mostrado mejores propiedades viricidas, siendo capaz de eliminar al virus en tan solo 4-8 horas.

También se ha podido investigar la supervivencia en los materiales más porosos como el papel, la tela o el algodón, que son capaces de inactivar al virus y hacerle perder su infecciosidad en pocos minutos desde que se produce el contacto, aunque más adelante se pueda seguir detectando el virus su carga viral se vuelve poco significativa. Aunque no se haya determinado la razón por la que las superficies más porosas eliminan el virus con tanta facilidad, esto puede deberse a que las fibras naturales absorbentes pueden hacer que el virus se seque más rápido que en otros materiales menos porosos, como pueden ser el plástico y el metal. También podría influir que en estos materiales los poros son grandes y abiertos, lo que propiciaría una incidencia mayor de ventilación sobre el propio material, factor que como se ha podido comprobar, es muy eficaz en la eliminación del virus.

Por otra parte se ha visto que los niveles de pH más ácidos y alcalinos minoran la persistencia de los virus, aunque el coronavirus actual mostró una estabilidad mayor que la que mostraron otros virus investigados anteriormente como el SARS-CoV-1 o el MERS-CoV.

Los resultados obtenidos evidencian que la persistencia del SARS-CoV-2 sobre la superficie de los materiales analizados es, en muchos casos, lo suficientemente elevada como para que pueda suponer un foco de contagio, por lo tanto existe una necesidad de encontrar técnicas y tratamientos que se puedan aplicar a los materiales, tanto de construcción como de uso cotidiano, que colaboren activamente en la neutralización e inhibición de los efectos del virus.

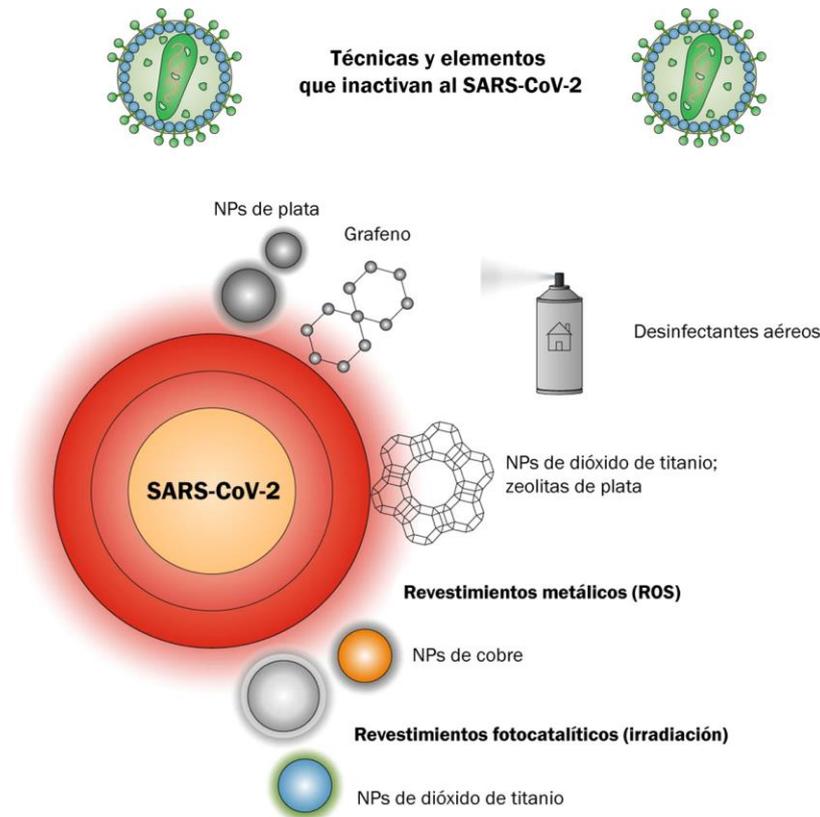
6. Materiales de construcción, técnicas y aditivos biocidas y viricidas en la actualidad

Hasta ahora, gracias a los estudios analizados en los capítulos anteriores, se ha podido obtener cierta información relevante acerca de la estabilidad del SARS-Cov-2. Se ha evidenciado que el virus alcanza una persistencia mayor en climas secos y fríos que en ambientes húmedos y calurosos. También se ha descubierto que hay materiales con un comportamiento mejor que otros en cuanto a la rapidez de inactivación del virus. Por ejemplo, por lo general los plásticos suelen necesitar más tiempo para lograr la completa inactivación, mientras que otros materiales como los metales, especialmente cuanto mayor es su contenido en cobre o plata, suelen tener una capacidad viricida mayor.

Por otra parte, tenemos que ser conscientes del desplome que ha sufrido el sector de la construcción y de los materiales de construcción en el que ha derivado esta situación. La crisis sanitaria ha paralizado la actividad de la inmensa mayoría de empresas al 60-90% según el sector en España, razón por la que es el momento de adaptarse a las nuevas circunstancias y reinventarse en el sector, apostando por el desarrollo de materiales que contribuyan a crear espacios más limpios y seguros ante la llegada de un nuevo rebrote o de futuras pandemias o situaciones similares.

Hasta ahora las principales medidas de seguridad adoptadas para controlar el contagio indirecto a través de superficies han sido la limpieza y desinfección de lugares y edificios públicos y su mobiliario, pero ha sido menos habitual encontrarse con medidas activas que, más allá de eliminar, traten de prevenir la propagación del virus estando preparadas para su inactivación en el momento en el que entren en contacto con el mismo.

En este capítulo se reunirán los diferentes materiales, tratamientos superficiales y técnicas de desinfección que existen actualmente en el mercado, y en base a los estudios analizados anteriormente se valorarán sus prestaciones con el fin de descubrir la eficacia de cada uno de ellos. Para ello se ha tratado de seleccionar productos naturales y ecológicos, que puedan ser reprocesados y utilizados de nuevo en sus ciclos de producción, con el fin de minimizar el impacto ambiental.



Métodos de inactivación:

1. Oxidación de la superficie
2. Degradación por nanopartículas (por oxidación de su superficie propia)
3. Liberación de iones tóxicos/ radicales libres
4. Prevención de la diseminación viral por:
 - Inhibición de la acción de las glicoproteínas virales
 - Prevención del contacto y penetración del virus
 - Generación de ROS (especies reactivas del oxígeno, incluyendo iones de oxígeno, radicales libres y peróxidos) sobre la superficie de NPs al exponerse al efecto de los rayos UV.
 - Fotoreacción: disolución de la membrana viral.

FIGURA 24 - TÉCNICAS Y ELEMENTOS QUE INACTIVAN AL SARS-CoV-2.
IMAGEN MODIFICADA DEL ESTUDIO DE TALEBIAN ET. AL (2020)

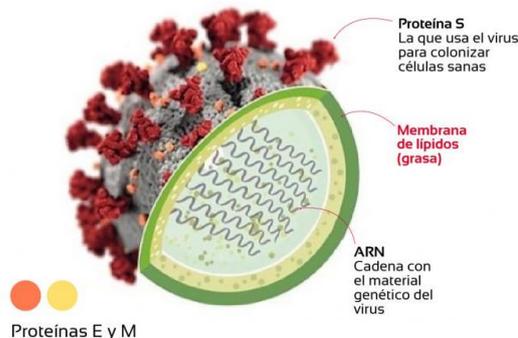
6.1 Plásticos

6.1.1 Aditivos 'MASTERBATCH d2p'

Los aditivos 'masterbatch d2p' han sido desarrollados por la multinacional Symphony Environmental y probados por los laboratorios Eurofins, siguiendo la norma "ISO-BS 21702:2019 (Primera edición 2019-05-27): Medición de la actividad antiviral en plásticos y otras superficies no porosas". Entre sus principales ventajas se encuentran su amplio espectro de actividad, actuando frente a agentes como bacterias, hongos, mohos, virus y algas. También la durabilidad del tratamiento, que permanece activo de forma permanente. Además se trata de un aditivo termoestable y totalmente compatible con una amplia gama de polímeros. También, en los casos de los envases, contribuyen a preservar y prolongar la vida útil de algunos alimentos.

En cuanto a la inactivación de agentes, el ingrediente activo del aditivo actúa sobre el microorganismo, en primer lugar, atravesando su membrana para poder penetrar en la célula, donde desactiva las moléculas críticas, y, finalmente, ataca al ADN de la célula para impedir su replicación. Este proceso se explica en la *Figura 25*. Se garantiza la eliminación del 99,99% de bacterias, hongos y otros microorganismos. Frente al SARS-CoV-2 ha mostrado una efectividad del 98,7%.

Estructura del SARS-CoV-2
(Virus que causa la enfermedad del covid-19)



¿Cómo trabaja la Tecnología d2p®?

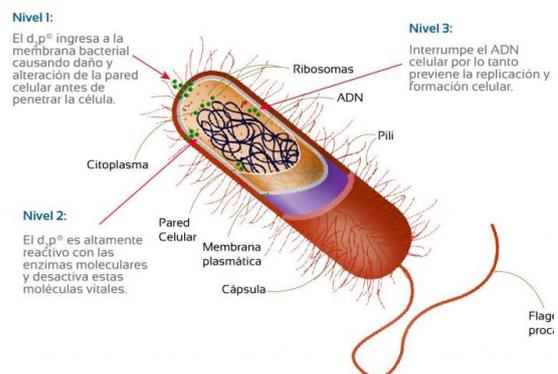


FIGURA 25 - TECNOLOGÍA D2P Y CÓMO AFECTA A UN VIRUS.
IMAGEN DE DEGRADABLE.COM.PE

Como se ha dicho, el aditivo es compatible con una amplia gama de polímeros y se puede agregar a la mayoría de éstos durante el proceso de fabricación. Este aditivo se puede añadir de dos maneras distintas. Por un lado, en forma de pellets, en resinas comunes como el polietileno, polipropileno, poliestireno, PET, PVC, ABS, etc., sin alterar el proceso industrial de los mismos materiales y por otro, en forma de polvo o líquido, se puede utilizar en la producción de pinturas, barnices, telas y guantes de nitrilo, caucho o látex.

Sus principales aplicaciones son los productos y embalajes con un alto riesgo de contaminación cruzada, por ejemplo, envases de alimentos, bebidas, productos de higiene y limpieza, tarjetas de crédito, dispositivos electrónicos, cubertería en general, etc. En el ámbito de los materiales de construcción, también podrían conformar una solución interesante para tubos de ventilación, agua y otras instalaciones, así como en pinturas, revestimientos de paredes, techos y cubiertas, como también para los sanitarios, por ejemplo, en las tazas de váter. También podría ser muy útil en hospitales para todo tipo de dispositivos médicos, así como para los EPI's.

6.1.2 Vinilo 'HYGITECH BIOCIDE'

Este producto ha sido desarrollado por la empresa 'THU Ceiling Solutions' y consiste en una placa de yeso laminado revestida con una lámina de policloruro de vinilo sobre la que se aplica un tratamiento que le aporta propiedades biocidas, que se mantienen activas durante toda la vida útil del material y previene el crecimiento y aparición de hongos y bacterias. Por la cara oculta cuenta con una lámina de aluminio para evitar la aparición de condensaciones. Está pensado para ser utilizado en techos suspendidos.



FIGURA 26 - PRODUCTO 'HYGITECH BIOCIDE' DE LA CASA THU CEILING SOLUTIONS.
IMAGEN DE THU.ES

El producto se desarrolla pensando en las necesidades higiénicas que requieren determinados tipos de espacios, como pueden ser laboratorios, quirófanos, salas de almacenamiento estériles, habitaciones de hospital, residencias, aseos y zonas de ducha, etc. En la *Figura 26* está siendo utilizado como techo suspendido en el corredor de un hospital.

6.2 Metales

6.2.1 Cobre y 'COPPER ARMOUR'

Como se ha visto en el capítulo anterior, el cobre y sus aleaciones presentan unas condiciones notablemente superiores en relación con la inactivación del SARS-CoV-2 a las que poseen otros metales y otros materiales, en general. En el estudio realizado por Van Doremalen et al. (2020), este metal tardaba aproximadamente 4 horas en destruir completamente al virus, que es un periodo de tiempo bastante más corto que el de otros materiales, como el plástico o el acero inoxidable, en los que el virus persistía hasta 2 o 3 días, según el mismo estudio.



FIGURA 27 - PLACA DE COBRE IMPRESA EN 3D A MODO DE MANILLA DE UNA PUERTA.
IMAGEN DE SWISSINFO.CH

La inactivación se produce cuando cualquier tipo de microorganismo se posa mediante un aerosol en la superficie del cobre. En ese momento se liberan iones de cobre con una carga eléctrica cuya reacción impide la respiración celular, perforando la membrana de la célula o la capa viral, destruyendo a su vez el ADN y el ARN en su interior, de forma que éste pierde por completo la capacidad de mutar o desarrollar resistencia al material. Según un estudio realizado por Michels et al. (2015) sobre la capacidad viricida y bactericida del cobre, existe una reducción de hasta un 90% en el número de bacterias vivas en las superficies cuando estas son de cobre, lo que a su vez deriva en una notable reducción de las tasas de infección.

En cuanto a su aplicación, también se debe tener en cuenta que se trata de un material caro, por lo tanto se debe restringir su uso a los espacios destinados a servicios esenciales, como pueden ser los hospitales, aeropuertos, estaciones de trenes y autobuses, etc. Dentro de estos espacios, el uso del material se debe aplicar a las superficies o elementos de los que haya previsión que vayan a ser tocados con frecuencia, como pueden ser las barandillas de cama o determinado instrumental médico en los hospitales y centros de salud o, con carácter general, los brazos de sillas y bancos, la grifería, manijas o pomos de puertas y ventanas y superficies táctiles como botones de ascensores. También podría ser aplicado como aditivo en otro tipo de metal para reducir el coste, siempre que el elemento al que materialice no tenga unas necesidades de respuesta tan altas como las que poseen los elementos anteriormente mencionados. Una alternativa barata podría ser el bronce de aluminio (Cu+Al).

Behzadinasab et al. (2020) han investigado y desarrollado un recubrimiento que consiste en partículas de óxido cuproso (Cu_2O) unidas con poliuretano. Se comprobó la persistencia del SARS-CoV-2 sobre dos superficies de vidrio y otras dos de acero inoxidable, una de ellas revestida con el recubrimiento y la otra sin revestir, con el fin de poder comparar los resultados. En ambos casos se aplicó una solución líquida con una carga viral de aproximadamente 6 $\text{TCID}_{50}/\text{ml}$.

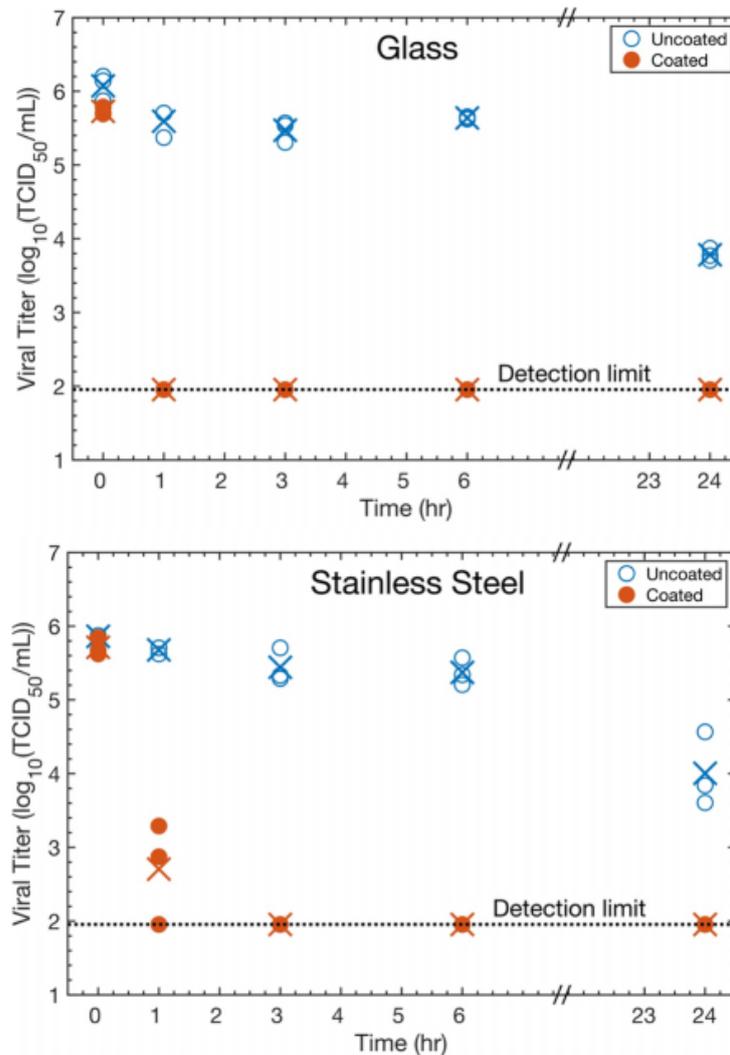


FIGURA 28 - PERSISTENCIA DEL SARS-CoV-2 SOBRE VIDRIO Y ACERO INOXIDABLE CON Y SIN RECUBRIMIENTO. GRÁFICA DEL ESTUDIO DE BEHZADINASAB ET AL. (2020)

Como se ve en la [Figura 28](#), en el transcurso de una hora el virus se volvió indetectable sobre ambas superficies revestidas. En cambio, éste se mantuvo activo durante mucho más tiempo cuando las superficies no estaban revestidas, ya que hasta transcurridas 24 horas seguía siendo detectable en ambos casos con cargas virales de aproximadamente 4 $\text{TCID}_{50}/\text{ml}$. Por tanto, se evidencia la eficacia de este tratamiento, alcanzando porcentajes de reducción en todos los casos superiores al 99,9%. Además, el mismo estudio afirma que el revestimiento es de fácil aplicación sobre objetos y superficies,

ya que solamente consistiría en aplicar estas partículas de óxido cuproso a una pintura de poliuretano. Serviría para revestir superficies o elementos de alto contacto, como pomos de puerta, superficies táctiles, carros de supermercado, etc.

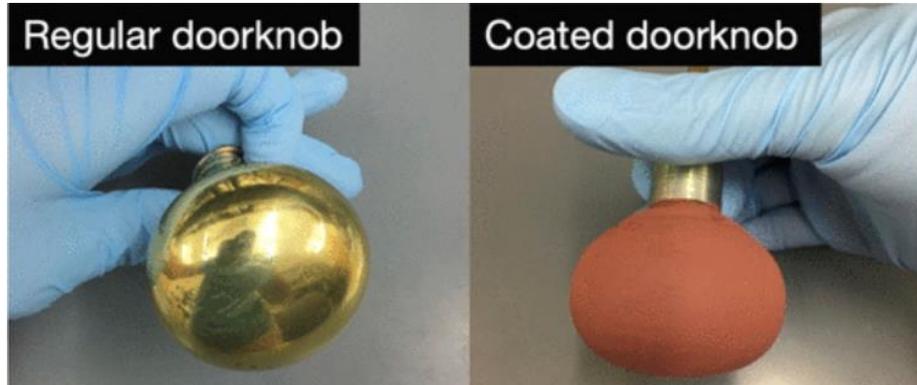


FIGURA 29 - ACABADO EXTERIOR DEL RECUBRIMIENTO EN EL POMO DE UNA PUERTA.
IMAGEN DEL ESTUDIO DE BEHZADINASAB ET AL. (2020)

Recientemente la empresa Atacam Lab ha desarrollado un nuevo producto llamado 'Copper Armour'. Se trata de un revestimiento de cobre que se aplica en estado líquido a temperatura ambiente formando superficies antimicrobianas y se puede aplicar sobre pavimentos, muros, mobiliario y carpintería en general. Se ha comprobado su efectividad reduciendo hasta el 99,9% de virus y bacterias en condiciones severas de exposición.



FIGURA 30 - PRODUCTO 'COPPER ARMOUR' DESARROLLADO POR ATACAM LAB.
IMAGEN DE ATACAMLAB.COM

6.2.2 Plata y tecnología 'HealthCover Antibacterias'

En un estudio (Akbarzadeh et al. 2018) se analizaron los efectos de la aplicación de nanopartículas de plata para la inhibición del virus del herpes simple. Se comprobó que la plata tiene un proceso de inactivación de microorganismos similar a la del cobre. Este depende de los iones Ag^+ , que reducen el crecimiento bacteriano a través de la inhibición de las enzimas respiratorias y de interacciones con el ADN. La ventaja al utilizarse nanopartículas de plata es que hay una descarga permanente de iones que aumenta su capacidad antimicrobiana.

No obstante, la toxicidad y el potencial de las secuelas a largo plazo que este material puede provocar son elevadas y se requiere de investigaciones adicionales para determinar cómo utilizar con seguridad los productos que contienen nanomateriales metálicos sin crear nuevos riesgos para los seres humanos o el medio ambiente. Por otra parte, los iones de plata requieren de unas condiciones atmosféricas muy concretas para que se activen sus propiedades biocidas y viricidas, concretamente una temperatura superior a los $35^{\circ}C$ y una humedad relativa mayor al 90%, y en otro estudio se confirmó que ante condiciones atmosféricas diferentes a las mencionadas, la eficacia se reducía considerablemente (H. T. Michels, Noyce, and Keevil 2009).

Por lo tanto, se evidencia que es un material con propiedades viricidas y bactericidas, pero con una serie de desventajas y contrapuntos. El cobre, por el contrario, mantiene sus características viricidas en superficies secas y en un espectro de condiciones ambientales más amplio, por lo tanto, hasta la fecha, parece una opción más lógica su empleo tanto como material puro como en aleaciones o como aditivo.

La tecnología 'HealthCover Antibacterias' ha sido desarrollada por el Grupo Presto Ibérica a través de una nueva línea de productos, y consiste en la aplicación de unas nanopartículas de plata a la superficie de un producto, liberando iones de plata al entrar en contacto con cualquier bacteria u otros agentes microbianos. Se puede aplicar a superficies de plástico, metal y otras superficies no porosas, y es comúnmente utilizado en el entorno sanitario. Ha demostrado una efectividad del 99,9% frente a bacterias comunes como la *Escherichia Coli* y *Staphylococcus Oureus*.



FIGURA 31 - PRODUCTO COMERCIAL 'PRESTO XT ELEC-LM' DE LA CASA PRESTO IBÉRICA CON TECNOLOGÍA HEALTHCOVER ANTIBACTERIAS. IMAGEN DE PRESTOIBÉRICA.COM

6.2.3 Flúor como aditivo en la superficie

Arenas et al. (2013) realizan un estudio en el que se modifica la superficie de un sustrato, en este caso capas de óxido de titanio anodizadas, atribuyéndole propiedades antibacterianas mejoradas. Estas propiedades cambian la composición química de material, la humectabilidad, la rugosidad de la superficie y otras características relacionadas directamente con la adhesión de las bacterias, y consisten en la incorporación de flúor durante el proceso de anodización, generando una barrera que provoca una disminución significativa en la supervivencia de agentes patógenos, como se puede apreciar en la *Figura 32*. El experimento se realiza con las bacterias 'Staphylococcus aureus' y 'Staphylococcus epidermis' sobre la superficie sin tratamiento superficial (CP), otra anodizada sin flúor (BL) y otra anodizada con un contenido del 12% de flúor (FBL), y se evidencia que las muestras con FBL reducen drásticamente el porcentaje medio de la superficie cubierta por las bacterias. En el caso de ambas bacterias ese valor se llega a reducir hasta en un 8%.

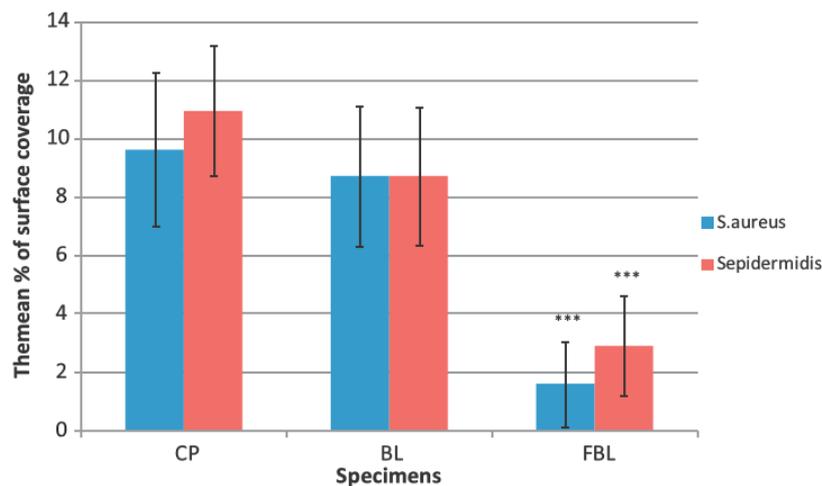


FIGURA 32 – PERSISTENCIA DE BACTERIAS SOBRE LA ALEACIÓN DE TITANIO CON Y SIN FLÚOR.
DIAGRAMA DEL ESTUDIO DE ARENAS ET AL. (2013)

De momento no ha habido actualizaciones en esta investigación con respecto al SARS-CoV-2, pero sería interesante analizar la eficacia de esta técnica de cara a la inactivación del virus, ya que podría ser aplicable en multitud de materiales metálicos de construcción.

6.3 Cerámicos

6.3.1 Nitruro de silicio (Si_3N_4) y 'AP²'

Se trata de un compuesto muy duro, prácticamente inerte químicamente y con alta resistencia al choque térmico, a la erosión, al desgaste y a la corrosión. Además es un material biocompatible, es decir, no muestra toxicidad en células de mamíferos y es seguro para el uso a largo plazo en humanos. También tiene notables propiedades aislantes frente al agua y a la electricidad.

Esta biocerámica tiene un comportamiento antibacteriano muy bueno, ya que consigue inhibir las infecciones bacterianas a través de la composición bioquímica de su superficie, concretamente el nitrógeno, que se convierte rápidamente en amoníaco al entrar en contacto con células de bacterias y virus, inhibiendo sus efectos y destruyendo dichas células.

Recientemente se estudió su efectividad antiviral frente al SARS-CoV-2 y los resultados fueron similares a los investigados en un estudio anterior frente al virus de la gripe A y el enterovirus, inactivándose por completo (>99%) el virus en una solución de fosfato salino con un 15% de nitruro de silicio tras 1 minuto (Pezzotti et al. 2020), como se puede apreciar en la *Figura 33*.

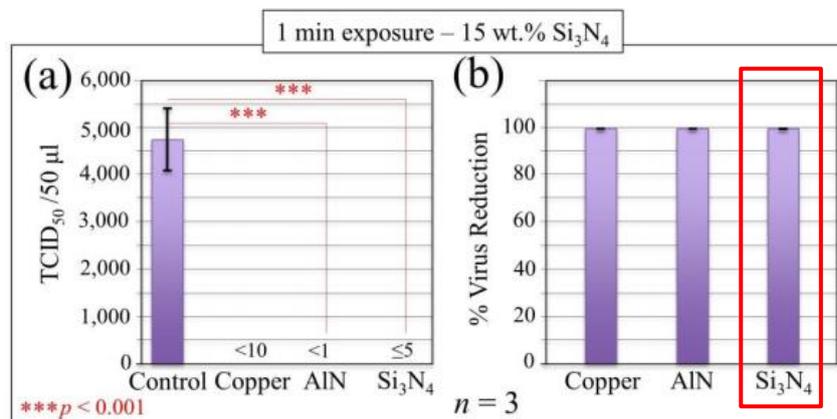


FIGURA 33 - INACTIVACIÓN DEL SARS-CoV-2 SOBRE COBRE, NITRURO DE ALUMINIO Y NITRURO DE SILICIO. DIAGRAMA DEL ESTUDIO DE PEZZOTTI ET AL. (2020)

Como material puro, el nitruro de silicio puede ser aplicado sobre piezas de desgaste que van a ser sometidas a estrés mecánico, altas temperaturas o a diferentes productos químicos corrosivos. Hoy en día se utiliza principalmente en el campo de la electrónica por sus propiedades aislantes, también en todo tipo de máquinas industriales y en la biomedicina a modo de elementos para la sustitución o reparación de huesos. Podría ser muy interesante su uso en dispositivos e instrumental médico.

Por otra parte, la empresa 'SINTX Technologies' está investigando la aplicación de este material como aditivo para mejorar las propiedades bactericidas y

viricidas de otros productos. Se trata de una composición en polvo llamada AP². En la *Figura 34* se observa que las partículas que componen el polvo son de un tamaño inferior a una micra, lo que facilitaría la homogeneidad en la aplicación sobre otro material o superficie, optimizando así su actividad frente a los microorganismos. El AP² se puede aplicar como recubrimiento para determinadas superficies de alto contacto, equipos médicos, pantallas, encimeras y picaportes, en definitiva, en los lugares donde haya más posibilidades de que aparezcan virus y bacterias.

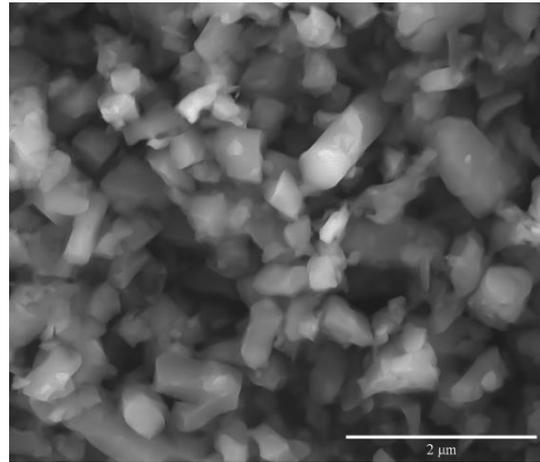


FIGURA 34 - MICROGRAFÍA DEL POLVO AP².
IMAGEN DE SINTX.COM

También podría suponer una mejora considerable su aplicación en mascarillas. Como se ha visto en el capítulo anterior, hoy en día las mascarillas sirven como barrera para que el virus no llegue a penetrar en el organismo por la nariz y boca, pero los virus pueden llegar a permanecer activos hasta durante 7 días en la superficie de esta. Es por eso por lo que incorporar a ese material un elemento que actúe activamente en la eliminación del virus sería un gran avance. Además jugaría a favor la propiedad biocompatible del nitruro de silicio.

6.4 Hormigón y morteros

6.4.1 Aditivo inhibidor del crecimiento biológico

Los materiales en base de cemento presentan, en principio, una baja susceptibilidad de ser invadidos por microorganismos debido a su alta alcalinidad, con pHs que rondan los valores 11-13. No obstante, el paso del tiempo afecta negativamente al material reduciendo estas propiedades, según Aguado de Cea (2016). Por tanto, es necesario encontrar un aditivo que garantice la durabilidad del efecto biocida sobre la superficie del material.

En el estudio se investiga y desarrolla un aditivo inhibidor que actúa en superficies de materiales de construcción en base cemento sin perjudicar significativamente las propiedades finales del material y que carece de efectos tóxicos para el ser humano ni el medio ambiente. Esta invención promete reducir costes de estructuras afectadas por la aparición de microorganismos, así como los costes asociados a procesos de limpieza e higienización, aumentando en definitiva las prestaciones y la vida útil del material.

La dosis de aplicación del aditivo comprende entre el 0,1% y el 0,5% del peso en seco del material, una cantidad pequeña que supondría un incremento muy ligero del precio. Esta sustancia alberga entre sus componentes un agente bactericida y fungicida que actúa sobre el metabolismo lipídico de microorganismos y otro agente alguicida y fungicida, que inhibe la síntesis de proteínas de los microorganismos.

El aditivo se evaluó frente a diferentes tipos de microorganismos, como la 'Escherichia coli', el 'Staphylococcus aureus' o el 'Aspergillus niger' y se obtuvieron resultados satisfactorios. También logró frenar el crecimiento de algas en la superficie del hormigón.

El aditivo puede ser aplicado tanto como aditivo en masa del material, sea hormigón o mortero de cemento, como para un revestimiento superficial, por ejemplo, lechada de cemento o en pinturas con base de cemento.

Sería interesante someter a este aditivo a un experimento análogo a los comentados en el capítulo anterior para evaluar su eficacia frente a diferentes virus como el SARS-CoV-2 y ver si cuenta también con propiedades viricidas, ya que actualmente existe muy poca información relacionada con un material de construcción tan básico como el hormigón y el coronavirus.

6.5 Maderas

En el caso de la madera, los tratamientos más comunes son los recubrimientos que alteran la superficie de la madera, normalmente aplicados para reducir su grado de exposición al entorno, quedando de esta forma protegida de condiciones climáticas desfavorables o de la aparición de bacterias, virus u otros microorganismos.

Estos recubrimientos pueden incorporar adiciones de agentes activos biocidas, que se pueden aplicar tanto sobre la madera al natural como sobre derivados de la madera. (listones, contrachapados, aglomerados, fibras, etc.). La aplicación de estos aditivos suele ser superficial, por tanto, las propiedades mecánicas de la madera no quedan mermadas. También existen unas nanopartículas que se pueden aplicar a estos acabados, que aumentan la durabilidad del material y también pueden poseer propiedades biocidas contra virus y bacterias.

Hasta el momento no se ha determinado el comportamiento de estos aditivos sobre la superficie de la madera frente al SARS-CoV-2 y todavía no existen productos comerciales que garanticen su destrucción, por lo que sería interesante que alguna empresa lo desarrollara, al ser un material muy empleado en la arquitectura, siendo utilizado en pavimentos, revestimientos interiores y exteriores, mobiliario, etc.

6.5.1 'COMPACMEL PLUS' y 'INNOVUS SO CARING'

Se trata de unos tableros compactos de fibras de madera reciclada, recubiertos con papel decorativo impregnado con resinas melamínicas con propiedades antibacterianas gracias a un aditivo que se les añade. Se aplican en espacios interiores y el primero tiene un buen comportamiento en condiciones de humedad muy elevada. Se puede aplicar en mobiliario deportivo, taquillas, bancos, puertas, etc.



FIGURA 35 - PRODUCTO 'COMPACMEL PLUS' DE LA
CASA FINSA.
IMAGEN DE FINSA.COM

6.6 Pinturas

6.5.1 Pintura 'PRIMER PLUS'

La empresa 'Graphenstone' ha desarrollado una pintura natural a base de cal y nanomateriales gráfenicos. Como se puede observar en el capítulo anterior, un estudio demuestra que el pH los rangos de pH más extremos comprometen la estabilidad del SARS-CoV-2.

Esto es en lo que se basa esta pintura para inactivar al virus, ya que la cal le otorga un pH superior a 13, de forma que la elevada alcalinidad del compuesto final inhibe el crecimiento de microorganismos, garantizando la inactivación del SARS-CoV-2 en el transcurso de 24 horas. Por otra parte, los nanomateriales gráfenicos también tienen propiedades bactericidas y, al igual que ocurre con los nitruros de silicio, de aluminio, la plata y el cobre, también se liberan iones que producen una oxidación en la superficie al contacto con estos microorganismos, interfiriendo en su proceso de respiración y causándoles alteraciones en ADN y ARN hasta su completa destrucción (Akhavan and Ghaderi 2010).

Este material gráfenico también mejora la resistencia y flexibilidad de la pintura. Ésta es aplicable tanto en interiores como en exteriores al ser hidrófuga, y su uso es apto para techos y paredes.



FIGURA 36 - PRODUCTO COMERCIAL 'PRIMER PLUS'
DE LA CASA GRAPHENSTONE.
IMAGEN DE GRAPHENSTONE.COM.ES

6.7 Productos desinfectantes

Como se ha podido observar, existen determinados materiales que no poseen unas propiedades antimicrobianas aceptables, y cuyas superficies poseen unas características químicas y biológicas que permiten que el virus se establezca, llegando a persistir entre 4 y 7 días con una carga viral considerable que para determinados lugares puede suponer un problema. Por ejemplo, en el caso de los pétreos y los materiales de base cemento falta todavía mucha investigación y no se ha llegado a conclusiones concluyentes respecto a posibles tratamientos sobre sus superficies que inhiban los efectos del SARS-CoV-2.

En los casos en los que no se pueda incorporar una sustancia o técnica que contribuya activamente a la eliminación del virus sobre un material, la opción más sensata es la de desinfectar periódicamente la superficie de este a través de aerosoles viricidas. En la [Tabla 5](#) se muestran los productos que se aplican en la actualidad con mejor relación eficacia-toxicidad.

	Etanol (C₂H₅OH) (Alcohol)	Hipoclorito sódico (NaClO) (Lejía)	Peróxido de hidrógeno (H₂O₂) (Agua oxigenada)
Desinfección química	Oxidativa	Oxidativa	Oxidativa
Reactividad	Elevada	Muy elevada	Muy elevada
Nivel de pH	7	11	2-4
Grado de concentración	62-71%	0,1%	0,5%
Tiempo de descomposición	Muy rápido	Rápido	Rápido
Efecto residual persistente	Minutos	Minutos	Hasta 6 días
Estabilidad	Muy estable	Muy estable	Muy estable
Acción en virus encapsulados	Buena	Muy buena	Muy buena
Acción en virus no encapsulados	Muy buena	Muy buena	Muy buena
Toxicidad	Bien tolerado	Bien tolerado	Bien tolerado

TABLA 5 – EFICACIA Y CARACTERÍSTICAS DE PRODUCTOS DESINFECTANTES.
ELABORACIÓN PROPIA.

Los desinfectantes más prácticos son las soluciones alcohólicas, ya que se evaporan a los pocos minutos desde su aplicación y no necesitan de un proceso posterior de secado, mientras que los más eficaces son los de peróxido de hidrógeno o agua oxigenada, que poseen una acción residual posterior sobre las superficies sobre las que se aplica durante hasta 6 días y su tiempo de descomposición también es muy rápido. En el caso de las tres sustancias el nivel de toxicidad es escaso y bien tolerado por el cuerpo humano, aun así, en determinadas superficies donde se vaya a manipular alimentos es más recomendable utilizar la solución a base de etanol por ser la menos agresiva y la más rápida en descomponerse.

La *Figura 37* muestra el producto comercial 'OX-VIRIN Presto al Uso', que es un aerosol con propiedades bactericidas, fungicidas y viricidas que cumple las normas UNE-EN 1276, 1650, 1656, 1657, 13697, 14476 (se encarga de regular la eficacia contra el COVID-19) y 14675. Actualmente es el producto de limpieza que se está utilizando en la facultad de la ETSA UPV para esterilizar y desinfectar el edificio. Entre su composición se encuentra un 0,20% de peróxido de hidrógeno (H_2O_2), un 0,05% de ácido peracético (CH_3CO_3H), que es un compuesto orgánico con sustancias activas biocidas, excipientes y agua. Además, se trata de un producto 100% biodegradable que no es tóxico y no afecta a la superficie de los materiales sobre los que se aplica, por tanto, su uso es adecuado para todo tipo de superficies, incluso para prendas de ropa.

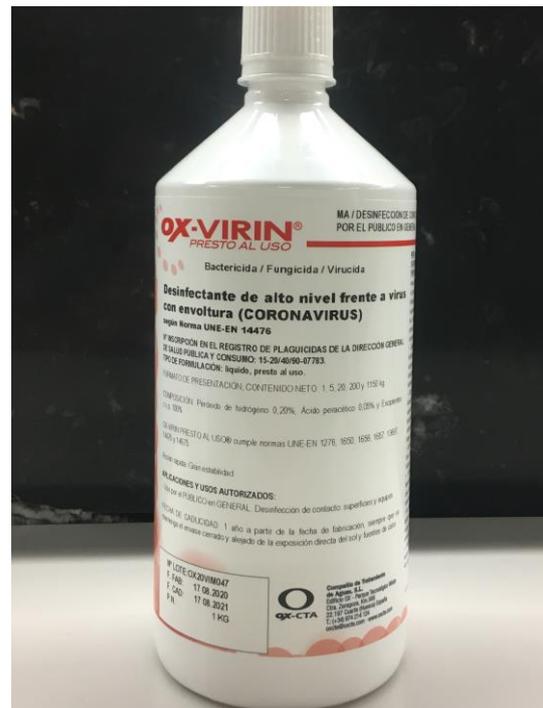


FIGURA 37 – PRODUCTO COMERCIAL 'OX-VIRIN PRESTO AL USO' UTILIZADO EN LA ETSA, UPV.
IMAGEN PROPIA

6.8 TABLA DE PRODUCTOS

Producto comercial/ Empresa	Descripción	Método de inactivación	Eficacia frente al SARS- CoV-2	Eficiencia antibacteriana	Toxicidad	Aplicación
Masterbatch d2p/ Symphony environmental	Aditivos biocidas compatibles con la mayoría de polímeros. Aplicación en forma de pellets, en polvo o líquido.	Activación de iones	>98,7%	>99,9%	Muy baja	Polímeros, resinas, pinturas, barnices, telas, guantes de nitrilo, caucho o látex. Conductos de ventilación, EPIs, etc.
Hygitech Biocide/ THU Ceiling Solutions	Placa de yeso laminado revestida con lámina de policloruro de vinilo con aditivos biocidas.	Desconocido	No testada	>99,9%	Muy baja	Techos suspendidos de laboratorios, quirófanos, espacios esterilizados, zonas de ducha y aseos, etc.
Copper Armour/ Atacama Lab	Revestimiento de cobre metálico que se aplica en estado líquido.	Activación de iones	>99%	>99,9%	Baja	Pavimentos, muros, cubiertas, muebles, etc.
Grifería Presto/ PRESTO IBÉRICA	Aditivo de plata.	Activación de iones	No testada	>99,9%	Baja	Grifería en general
AP ² / SINTX	Aditivo de nitruro de silicio o nitruro de aluminio aplicado en cerámicas.	Activación de iones	>99%	>99,9%	Muy baja	Como aditivo en cerámicas y superficies de alto contacto (encimeras, grifería, pomos de puertas, etc.) También aplicable en textiles.

Novoescozia Antibacteriana'/ EMAC	Carpinterías de aluminio con recubrimiento antibacterial.	Desconocido	No testada	>99,9%	Baja	Rodapiés, alicatados.
Compacmel Plus'/ FINSA	Tablero compacto de fibras de madera con acabado de resinas melamínicas. Apto para zonas húmedas.	Aditivo con propiedades antibacterianas	No testada	>99,9%	Muy baja	Mobiliario deportivo, taquillas, bancos, separación de WC, baños públicos, puertas, revestimientos, etc.
So Caring'/ SONAE ARAUCO	Tablero compacto con acabado de resinas melamínicas. Uso en ambientes secos.	Aditivo con propiedades antibacterianas	No testada	>99,9%	Muy baja	Mobiliario, revestimientos, separadores, etc.
Paneles 'Kronospan'/ KRONOSPAN	Revestimiento de madera de suelos con compuestos hipoalergénicos.	-	No testada	No testada	Baja	Todo tipo de revestimientos, mobiliario, carpinterías, etc.
Primer Plus'/ GRAPHENSTONE	Pintura natural a base de cal y nanomateriales grafénicos.	pH y activación de iones	No testada	>99,9%	Muy baja	Techos y paredes en interiores y exteriores.
Uno Zero'/ MONTÓ	Pintura plástica mate especial para espacios sanitarios con aditivo de plata.	Activación de iones	No testada	>99,9%	Baja	Interiores y exteriores.
Smart colors'/ SMART COLORS	Pintura fotocatalítica ecoactiva.	Fotocatálisis	No testada	70-100%	Muy baja	Techos y paredes interiores.
En el Anejo I se adjuntan las fichas de producto y fichas técnicas de los productos comerciales y aditivos seleccionados.						

TABLA 6 – CATÁLOGO DE TÉCNICAS Y MATERIALES BIOCIDAS EN LA ACTUALIDAD.
ELABORACIÓN PROPIA.

6.9 Conclusiones

En este capítulo se ha visto que existe la posibilidad de emplear aditivos o aleaciones en masa y tratamientos superficiales para reducir la persistencia del SARS-CoV-2 al mínimo para la mayor parte de las diferentes familias de los materiales de construcción.

En la familia de los plásticos se ha descubierto la posibilidad de la aplicación de aditivos tanto en masa como en superficie y como son ya empleados en la actualidad mediante distintas tecnologías.

En cuanto a los metales, se ha visto que el cobre y la plata son especialmente reactivos ante la aparición de virus y bacterias, tanto tratándose de los propios materiales en masa como en distintas aleaciones. Además, en el caso del cobre, ya se ha investigado y demostrado que es uno de los materiales que frenan la propagación del SARS-CoV-2 más eficazmente y en un período más corto de tiempo, inactivándolo por completo después de pocas horas.

En la familia de los cerámicos se ha comprobado que existe una tecnología (AP²) basada en nitruro de silicio aplicable sobre la superficie del material. Recientemente ha sido testada frente al coronavirus actual y se ha visto que es capaz de desactivarlo con una rapidez y efectividad muy altas. Se trata de un producto económico y nada tóxico, muy poco invasivo y compatible con multitud de materiales. A falta de más investigación, podría ser una alternativa interesante a otros materiales y aditivos metálicos cuyo precio suele ser un poco más elevado.

Respecto a las cales y cementos, hasta la fecha no se ha investigado con la incorporación de aditivos que minimicen la persistencia del SARS-CoV-2, pero en el capítulo anterior hemos visto como debido a su composición química (pH elevado), son materiales que comprometen la estabilidad del virus hasta cierto punto. Además, se ha visto que si ha sido posible dotarlos de aditivos para la eliminación de otro tipo de microorganismos, como bacterias, algas y hongos. No obstante, en el caso de la aplicación de estos materiales en determinadas estancias con unas necesidades higiénicas más severas, probablemente no mostrarían un comportamiento tan eficaz como el que se ha visto en otros materiales o aditivos. Por tanto, sería interesante aplicar algún aditivo a nivel superficial o en masa y analizar su respuesta antimicrobial frente al coronavirus actual.

Por otra parte, existen productos de madera con recubrimientos biocidas, de los que también se ha comprobado su eficacia bactericida y viricida. No obstante, son adiciones que no se aplican sobre el material en sí, sino que se incorporan en una capa superficial que revista al material, como pueden ser resinas, pinturas, barnices, etc.

A través del producto comercial 'Primer Plus' de Graphenstone también se ha podido comprobar como las nanopartículas de grafeno contienen propiedades electrónicas que afectan a la supervivencia del SARS-CoV-2 y como pueden ser aplicadas en una pintura. Este descubrimiento podría ser muy útil puesto que el grafeno es un material que se aditiva fácilmente sobre prácticamente todas las superficies en el campo de la construcción y de los materiales. Según explican en el artículo "Mascarillas de Grafeno Contra El Coronavirus" (2020), existe una patente que está desarrollando un tejido basado en tintas de grafeno y otros materiales derivados que podría mejorar la efectividad y comodidad de mascarillas y otros textiles diseñados contra el COVID-19.

También existe un proyecto llamado "Antibacteriano 19-20" ("AIDIMME / Difusión de Proyectos / Detalles" 2020) que se está llevando a cabo en la actualidad y que está proporcionando a diferentes empresas productos y procesos que aumentan la resistencia de los materiales sobre los que se aplican a microorganismos, bacterias y virus. Además, las sustancias biocidas que se desarrollan son medioambientalmente sostenibles, no son tóxicas y pueden ser aplicados en pinturas, barnices y revestimientos de casi cualquier tipo de superficie. Actualmente una parte de su investigación se centra en la minimización de la persistencia del SARS-CoV-2 sobre superficies.

Hay algunos materiales para los que hasta la fecha no se han elaborado estudios suficientes en relación a su comportamiento frente al SARS-CoV-2, como pueden ser los materiales pétreos y los vidrios. Particularmente en el caso de los vidrios que requieren una transparencia total, supone una tarea complicada encontrar un aditivo o recubrimiento que no comprometa esta característica. Para la esterilización de estos, se ha evaluado la efectividad de diferentes productos desinfectantes, que en estos casos son la única técnica de desinfección empleada.

Por último, es necesario incidir en la importancia de lavarse las manos. Un estudio investigó los objetos con mayor índice de contaminación en un hospital (Ye et al. 2020) y, como era de esperar, se trataba de los objetos tocados con más frecuencia, como impresoras, escritorios, teclados, pomos de las puertas, etc. Los EPIs más contaminados fueron los dispensadores de desinfectante de manos y los guantes. Por lo tanto, viendo los resultados de este estudio, es lógico que una de las medidas de prevención más eficaces frente al COVID-19 es la de lavarse las manos con mucha frecuencia siempre que vayamos a cambiar de una actividad a otra o a cambiar de estancia.

7. Recomendaciones constructivas para minimizar la propagación del COVID-19

Después de haber analizado la persistencia del coronavirus sobre diferentes materiales y las técnicas de desinfección que existen, se va a ofrecer una serie de recomendaciones constructivas y de elección de materiales en función a las características y necesidades del ambiente en el que nos encontremos.

La situación actual de pandemia como consecuencia de COVID-19 ha generado en el usuario una profunda inseguridad por miedo al contagio o la transmisión del virus, por lo que la “higienización” de los espacios, sobre todo en el ámbito de los espacios públicos, se convierte en un objetivo prioritario. No habiendo garantía absoluta para evitar el contagio o transmisión vírica, las soluciones vistas en el capítulo anterior para mobiliarios y equipamientos y sus materiales contribuyen a aumentar la resiliencia de las personas y a hacerles ganar confianza a la vez que ayudan a generar actitudes positivas en sus hábitos de comportamiento, factores clave para dar de nuevo viabilidad a las actividades económicas y sociales en los próximos tiempos.

Para higienizar estos espacios se ha adoptado un criterio de materialización de estancias según el grado de importancia que tengan, que varía en función del flujo de personas que vayan a tener o de su destino a ser ocupadas por personas contagiadas por el virus o vulnerables a sus efectos. La distinción se establece fundamentalmente para discriminar la mayor o menor inversión económica que está justificada en unos casos y otros. El propósito es no realizar intervenciones que tengan un excesivo carácter oneroso sino en función de la relevancia de unas estancias u otras desde la perspectiva de la propagación del virus o de la eficacia de la prevención.

Lo anterior debe entenderse sin perjuicio de que, hallado un material de bajo coste con una alta eficacia en la protección, la recomendación de su utilización puede extenderse a las estancias con distintos niveles de importancia. Sin embargo, no debe perderse en ningún caso el sentido no solo funcional sino también de valoración estética y de estilo que aporta la arquitectura a la convivencia humana, el cual impone que la propuesta de materialidad haya de tener de todos modos un abanico de alternativas que puedan satisfacer de mejor manera la comprensión espacial de los edificios en distintos contextos.

En primer lugar se definen las estancias de importancia nivel 1 (alta), que son los lugares con necesidades más estrictas de desinfección y neutralización de virus, bien porque sean zonas en las que haya altas probabilidades de que aparezcan (zonas húmedas de edificios públicos, aseos, duchas, lavabos, etc.), bien porque se trate de una estancia donde se alojen pacientes contagiados de COVID-19 o de otras enfermedades que debiliten su sistema inmunológico (hospitales, quirófanos, laboratorios, etc.). Son las estancias en las que el virus

debe ser eliminado del ambiente y de las superficies con la mayor rapidez posible.

En un artículo del periódico Las Provincias se plantea el caso del hospital Clínico en Valencia ("Coronavirus En Valencia | Hospitales Valencianos Reservan Plantas Enteras Para El Covid Al Dispararse Los Ingresos Graves | Las Provincias"), donde un 62% de la UCI se encuentra ocupada por enfermos graves de COVID-19 y en el que se están teniendo que tomar medidas como las de reservar plantas enteras para pacientes contagiados por coronavirus. Resulta evidente que en una situación como esta, se han de tomar todas las medidas a nuestro alcance para conseguir una esterilización óptima de los espacios. Se ha de tener en cuenta que en los hospitales, los médicos, enfermeros y trabajadores en general se mueven por diferentes zonas y sectores, compartiendo zonas de paso, accesos, elementos de comunicación vertical, etc.

De cara a la materialización de las diferentes estancias, se decide aplicar los materiales y revestimientos que han demostrado mayor eficacia frente al SARS-CoV-2 u otros patógenos similares, como se ha podido estudiar en capítulos anteriores. En primer lugar, se podría aplicar una pintura con el aditivo 'Masterbatch d2p' (eficacia frente al SARS-CoV-2 del 98,7%) como revestimiento de todo tipo de cerramientos y particiones existentes en el interior del edificio, incluidos los falsos techos. Se ha visto que el producto 'Copper Armour' (eficacia frente al SARS-CoV-2 del 99%) es una solución aplicable para pavimentos, por lo tanto, también se recomendaría su uso en un caso como éste. Para las superficies de alto contacto se podría emplear el aditivo de nitruro de silicio 'AP2' (eficacia frente al SARS-CoV-2 del 99%), como los pomos de las puertas, los botones de ascensor, las manivelas de las ventanas, grifería, aparatos sanitarios cerámicos, etc. Este mismo aditivo podría ser utilizado para todo tipo de instrumental médico, ya que ha demostrado no ser citotóxico a las células mamíferas, a diferencia del cobre (de hecho, actualmente este material ya se utiliza para implantes). También se ha demostrado que el producto puede ser aplicado en textiles, por lo que se aconsejaría utilizarlo en todos los EPIs y mascarillas que se vayan a utilizar en el hospital. En lo que respecta al mobiliario y a las carpinterías, cualquier superficie de madera podría ser barnizada o pintada con pintura 'Primer Plus', o la misma que se ha recomendado en los revestimientos de paredes y cerramientos, ya que ambas han mostrado propiedades viricidas óptimas. Por supuesto, una medida fundamental sería la de optimizar los sistemas de ventilación, favoreciendo siempre que se pueda la ventilación natural cruzada, principalmente en las hipotéticas "zonas cero", a saber, las habitaciones de los pacientes enfermos por COVID-19 y las zonas de paso, de forma que se minimice la carga viral evitando así que cualquier persona que abandone ese sector del hospital pueda portar el virus a otras zonas propiciando su propagación.

Aunque se ha comentado el caso concreto de un hospital, existen muchas otras estancias en las que también se deberían implementar medidas de este nivel de rigurosidad, por ejemplo, en los centros de atención a personas con síndrome de Down u otras enfermedades que acarrear defectos en el sistema inmunitario.

Por otro lado, las estancias de importancia nivel 2 (moderada) responden a todos aquellos espacios en los que vaya a haber una afluencia de personas considerable, normalmente edificios públicos de cualquier tipo (escuelas, oficinas, universidades, edificios administrativos, hoteles, restaurantes, etc.). En estas zonas se debe tratar de frenar la propagación del virus para que su incidencia sea la mínima posible.

Aunque los requisitos de un nivel de higiene óptima a este nivel ya no son tan indispensables como en el caso mencionado anteriormente, se ha de tener en cuenta que en estas estancias puede haber un elevado número de personas al mismo tiempo y que, en el caso de que exista alguna persona infectada por COVID-19 la situación podría derivar en un contagio masivo si las medidas preventivas que se tomen no son correctas, ya que el principal inconveniente del coronavirus actual es que tiene unas tasas de contagio notablemente más elevadas que las de la mayoría de los virus a los que también nos enfrentamos. En una estancia de importancia nivel 2, como puede ser un colegio, se deben tomar medidas principalmente en pasillos, aulas y servicios, que son las estancias que se diseñarán de forma que sus materiales y objetos comprendan una solución activa en la inhibición del virus.

Los cerramientos verticales del edificio podrían ser de muro de hormigón que podría quedar visto en algunas zonas, aplicando un acabado de pintura fotocatalítica 'Smart Colors' o revestido con tablero de madera 'Compacmel Plus' con acabado de resinas melamínicas, que también podrían ser utilizadas en las zonas húmedas sin problema. Este mismo material se emplearía también para las tablas de las mesas de trabajo de los alumnos. Se podría colocar unas placas 'Hygitech Biocide' como techo suspendido, especialmente en las zonas de ducha y en los aseos. Como hay previsión de albergar una gran cantidad de personas a diario, las superficies táctiles (barandillas, pomos de puerta, manivelas, etc.) en esta categoría también pasan a ser de vital importancia, por lo que se recomienda aplicar el aditivo de nitruro de silicio 'AP2'. Una vez más, la ventilación juega un papel fundamental y marca la diferencia a la hora de desinfectar este tipo de estancias, sobretodo en el caso de las aulas, donde van a haber muchos alumnos al mismo tiempo y, como se ha visto anteriormente, pese a que se mantenga una distancia de seguridad suficiente, si no hubiera ventilación los aerosoles con carga viral se acabarían esparciendo por toda la sala y la tasa de contagios crecería.

Por último, las estancias de importancia nivel 3 (baja), que serían los espacios menos concurridos y en el que el flujo de gente vaya a ser escaso, tratándose normalmente de viviendas unifamiliares o despachos de particulares. En estos

casos el factor de higiene sigue siendo importante, pero al ser espacios poco concurridos normalmente la carga vírica en el ambiente y en las superficies suele ser muy pequeña y no perjudicial. Normalmente en estos casos bastaría con emplear productos de limpieza antibacterianos y viricidas que cumplan la norma UNE-EN 14476, que es la que se encarga de regular la eficacia contra el COVID-19, así como ventilar la totalidad de las estancias de la vivienda con frecuencia. No obstante, en el caso de que se trate de una vivienda en la que habite una familia numerosa o un despacho particular con varios trabajadores, si que podría ser interesante esterilizar determinadas superficies, principalmente los cerramientos verticales, a los que se podría aplicar pintura 'Graphenstone'. A los mobiliarios, carpinterías y revestimientos de madera que se considere que pueden ser tocados con frecuencia, por ejemplo, armarios o estanterías, se les podría aplicar un barniz con aditivo 'Masterbatch d2p'. Para pomos de puertas y armarios se podría utilizar un revestimiento 'Copper Armour' y grifería 'Presto' con aditivo de plata. Estas medidas podrían ser una alternativa económica a las adoptadas en los casos anteriores y también garantizarían la minimización y en muchos casos eliminación del SARS-CoV-2.

8. Conclusiones

El desarrollo de este trabajo ha servido para conocer un poco mejor la actividad y supervivencia del SARS-CoV-2 ante diferentes condiciones climáticas y tipos de superficies de distintos materiales y el por qué el virus desarrolla un nivel de estabilidad mayor o menor en función de la superficie de la que se trate. También se han investigado las diferentes técnicas de eliminación de este y otros microorganismos, obteniendo materiales, aditivos y aerosoles biocidas y viricidas.

Aunque a día de hoy WHO | World Health Organization (2020) afirma que el principal foco de infección del COVID-19 es a través del contacto cercano con una persona infectada, también se sostiene que los objetos y las superficies de los materiales pueden suponer un foco de contagio, ya que parte de los aerosoles y gotículas con carga viral expulsadas pueden acabar en estas superficies y mantenerse infecciosas durante más o menos tiempo. El contagio se produce cuando las personas tocan estas superficies con las manos y posteriormente se tocan los ojos, nariz o boca, sin antes haberse lavado las manos. Si la carga viral en una superficie es elevada, algunos de los virus pueden desprenderse de estas superficies y volver a aparecer en el ambiente, propiciando así el contagio.

En cuanto a las condiciones climáticas, se ha demostrado que el virus es más sensible al calor y a la humedad, así como a la irradiación luminosa y la ventilación. Desde el ámbito de la arquitectura, esta última es la que se debería tener más en cuenta, por ser la más eficiente y la más sencilla de llevar a cabo. A lo largo del estudio se ha visto en diferentes escenarios y comparaciones como este factor reduce enormemente la tasa de contagios, a través de técnicas de diseño como la ventilación cruzada y la regeneración constante del aire en espacios interiores. En cuanto a los factores de temperatura y humedad relativa, para que lleguen a comprometer la estabilidad del virus hacen falta unas condiciones lejanas a las de confort para un ser humano, por tanto complica su aplicación en edificios, pero ha ayudado a comprender por qué el SARS-CoV-2 ha evolucionado de diferentes maneras en el mundo según zona geográfica y estación del año. También se ha visto que parte de la irradiancia solar es filtrada por la atmósfera y la que llega a la superficie terrestre no llega a suponer un problema para el virus, pero si que existen lámparas y dispositivos que emiten radiación UVC y que actualmente si que son utilizadas para desinfectar en ambientes interiores.

Respecto a la tasa de supervivencia del virus sobre la superficie de los materiales, se ha visto que depende tanto de la composición química (electronegatividad, nivel de pH) del material como de las propiedades geométricas (porosidad, rugosidad, etc.) de la superficie de este. Por ejemplo, los materiales más porosos como el cartón, la tela o el algodón consiguieron inactivar en mucho menos tiempo al virus que otras superficies más lisas

como el plástico o el acero inoxidable. Aunque no hay conclusiones certeras de por qué esto es así, podría deberse al tamaño de los poros y el hecho de que sean poros abiertos, ya que esto incrementa el flujo de aire que penetra en el material. Por otra parte, se ha descubierto que aunque un estudio afirma que la supervivencia del SARS-CoV-2 puede prolongarse hasta 28 días en según qué superficies (Riddell et al. 2020), la persistencia más allá de los 7-8 días es anecdótica ya que la carga viral que almacena a partir de ese momento no es suficiente para producir contagios, por lo que no supone ningún tipo de problema para la salud pública.

Se ha demostrado que existe la posibilidad de emplear aditivos o aleaciones en masa y tratamientos superficiales para reducir la persistencia del COVID-19 al mínimo en mayoría de las diferentes familias de materiales de construcción, y en los casos en que no se ha investigado, se hará, y de momento existen técnicas y productos desinfectantes que han demostrado ser completamente eficaces.

A partir del conocimiento profundo de toda la información recopilada se ha realizado una labor de reflexión para ofrecer una serie de recomendaciones constructivas y de elección de materiales de construcción para los diferentes escenarios posibles de cara a la prevención y neutralización del SARS-CoV-2.

En conclusión, pienso que actualmente todavía no existe la información suficiente para que, a través de diferentes técnicas y métodos, todos los materiales de construcción comprendan una solución activa para la eliminación de este virus, ya que se han realizado muy pocos experimentos específicos al respecto. Por ejemplo, no hay ninguna investigación que estudie la persistencia e inactivación del SARS-CoV-2 sobre ningún tipo de pétreo, por lo que solamente se pueden esterilizar mediante la aplicación de un aerosol, que es una técnica no permanente y que pierde sus efectos en un espacio de tiempo, generando a la larga un mayor coste. Pese a ello, con este trabajo se pretende ayudar al arquitecto post-COVID con la elección de los diferentes materiales de construcción teniendo en cuenta la información de la que disponemos hoy en día.

9. Bibliografía

9.1 Referencias

- Aboubakr, Hamada A., Tamer A. Sharafeldin, and Sagar M. Goyal. 2020. "Stability of SARS-CoV-2 and Other Coronaviruses in the Environment and on Common Touch Surfaces and the Influence of Climatic Conditions: A Review." *Transboundary and Emerging Diseases*. Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/tbed.13707>.
- Aguado de Cea, Antonio. 2016. "ADITIVO INHIBIDOR DEL CRECIMIENTO BIOLÓGICO EN."
- "AIDIMME / Difusión de Proyectos / Detalles." 2020. 2020. https://www.aidimme.es/serviciosOnline/difusion_proyectos/detalles.asp?id=28696.
- Akbarzadeh, Abolfazl, Leila Kafshdooz, Zohre Razban, Ali Dastranj Tbrizi, Shadi Rasoulpour, Rovshan Khalilov, Taras Kavetsky, et al. 2018. "An Overview Application of Silver Nanoparticles in Inhibition of Herpes Simplex Virus." *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology* 46 (2): 263–67. <https://doi.org/10.1080/21691401.2017.1307208>.
- Akhavan, Omid, and Elham Ghaderi. 2010. "Toxicity of Graphene and Graphene Oxide Nanowalls against Bacteria." *ACS Nano* 4 (10): 5731–36. <https://doi.org/10.1021/nn101390x>.
- Arenas, María A., Concepción Pérez-Jorge, Ana Conde, Endzhe Matykina, Juan M. Hernández-López, Ramón Pérez-Tanoira, Juan J. de Damborenea, Enrique Gómez-Barrena, and Jaime Esteba. 2013. "Doped TiO₂ Anodic Layers of Enhanced Antibacterial Properties." *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 105 (May): 106–12. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2012.12.051>.
- Backer, Alex. 2020. "Slower COVID-19 Case and Death Count Growth at Higher Irradiances and Temperatures." *SSRN Electronic Journal*, April. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3567587>.
- Behzadinasab, Saeed, Alex Chin, Mohsen Hosseini, Leo Poon, and William A. Ducker. 2020. "A Surface Coating That Rapidly Inactivates SARS-CoV-2." *ACS Applied Materials and Interfaces* 12 (31): 34723–27. <https://doi.org/10.1021/acsami.0c11425>.
- Biryukov, Jennifer, Jeremy A. Boydston, Rebecca A. Dunning, John J. Yeager, Stewart Wood, Amy L. Reese, Allison Ferris, et al. 2020. "Increasing Temperature and Relative Humidity Accelerates Inactivation of SARS-CoV-2 on Surfaces." *MSphere* 5 (4). <https://doi.org/10.1128/mSphere.00441-20>.
- Chau, Nguyen Van Vinh, Nguyen Thi Thu Hong, Nghiem My Ngoc, Tran Tan Thanh, Phan Nguyen Quoc Khanh, Lam Anh Nguyet, Le Nguyen Truc Nhu, et al. 2020. "Superspreading Event of SARS-CoV-2 Infection at a Bar, Ho Chi Minh City, Vietnam." *Emerging Infectious Diseases* 27 (1). <https://doi.org/10.3201/eid2701.203480>.

- Chin, Alex W H, Julie T S Chu, Mahen R A Perera, Kenrie P Y Hui, Hui-Ling Yen, Michael C W Chan, Malik Peiris, and Leo L M Poon. 2020. "Stability of SARS-CoV-2 in Different Environmental Conditions." *The Lancet Microbe* 1 (1): e10. [https://doi.org/10.1016/s2666-5247\(20\)30003-3](https://doi.org/10.1016/s2666-5247(20)30003-3).
- "Cómo Fueron Controladas Las Epidemias de SARS y MERS, Otros Coronavirus Para Los Que No Hay Vacuna - BBC News Mundo." 2020. 2020. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-52797076>.
- "Coronavirus: La Venta de Materiales de Construcción Se Desplomó Casi 40% | Apertura Negocio | El Cronista." 2020. 2020. <https://www.cronista.com/apertura-negocio/empresas/Efecto-coronavirus-la-venta-de-materiales-de-construccion-se-desplomo-un-395-20200406-0005.html>.
- "Coronavirus En Valencia | Hospitales Valencianos Reservan Plantas Enteras Para El Covid Al Dispararse Los Ingresos Graves | Las Provincias." n.d. Accessed November 4, 2020. <https://www.lasprovincias.es/comunitat/hospitales-reservan-plantas-20201021000801-ntvo.html>.
- Darnell, Miriam E R, Kanta Subbarao, Stephen M Feinstone, and Deborah R Taylor. 2004. "Inactivation of the Coronavirus That Induces Severe Acute Respiratory Syndrome, SARS-CoV." *Journal of Virological Methods* 121 (1): 85-91. <https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2004.06.006>.
- Doremalen, N. van, T. Bushmaker, and V. J. Munster. 2013. "Stability of Middle East Respiratory Syndrome Coronavirus (MERS-CoV) under Different Environmental Conditions." *Eurosurveillance* 18 (38). <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES2013.18.38.20590>.
- Doremalen, Neeltje Van, Trenton Bushmaker, Dylan H. Morris, Myndi G. Holbrook, Amandine Gamble, Brandi N. Williamson, Azaibi Tamin, et al. 2020. "Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1." *New England Journal of Medicine*. Massachusetts Medical Society. <https://doi.org/10.1056/NEJMc2004973>.
- Duan, Shu-Ming, Xin-Sheng Zhao, Rui-Fu Wen, Jing-Jing Huang, Guo-Hua Pi, Su-Xiang Zhang, Jun Han, Sheng-Li Bi, Li Ruan, and Xiao-Ping Dong. 2003. "Stability of SARS Coronavirus in Human Specimens and Environment and Its Sensitivity to Heating and UV Irradiation." *Biomedical and Environmental Sciences: BES* 16 (3): 246-55.
- Ficetola, Gentile Francesco, and Diego Rubolini. 2020. "Climate Affects Global Patterns of COVID-19 Early Outbreak Dynamics." *MedRxiv*, April, 2020.03.23.20040501. <https://doi.org/10.1101/2020.03.23.20040501>.
- Hellewell, Joel, Sam Abbott, Amy Gimma, Nikos I. Bosse, Christopher I. Jarvis, Timothy W. Russell, James D. Munday, et al. 2020. "Feasibility of Controlling COVID-19 Outbreaks by Isolation of Cases and Contacts." *The Lancet Global Health* 8 (4): e488-96. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(20\)30074-7](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(20)30074-7).
- "Infection Control Strategies." 2020. 2020. <https://www.aaha.org/aaha-guidelines/infection-control-configuration/infection-control-strategies/>.
- Kampf, G., D. Todt, S. Pfaender, and E. Steinmann. 2020. "Persistence of Coronaviruses on Inanimate Surfaces and Their Inactivation with Biocidal Agents." *Journal of Hospital Infection*. W.B. Saunders Ltd.

- <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.01.022>.
- Kampf, Günter. 2020. "Potential Role of Inanimate Surfaces for the Spread of Coronaviruses and Their Inactivation with Disinfectant Agents." *Infection Prevention in Practice* 2 (2): 100044. <https://doi.org/10.1016/j.infpip.2020.100044>.
- Kariwa, Hiroaki, Nobuhiro Fujii, and Ikuo Takashima. 2006. "Inactivation of SARS Coronavirus by Means of Povidone-Iodine, Physical Conditions and Chemical Reagents." *Dermatology (Basel, Switzerland)* 212 Suppl (Suppl 1): 119–23. <https://doi.org/10.1159/000089211>.
- Li, Jianfeng, Linyuan Zhang, Zhihua Ren, Caihong Xing, Peihuan Qiao, and Bing Chang. 2020. "Meteorological Factors Correlate with Transmission of 2019-NCoV: Proof of Incidence of Novel Coronavirus Pneumonia in Hubei Province, China." *MedRxiv*, April, 2020.04.01.20050526. <https://doi.org/10.1101/2020.04.01.20050526>.
- "Mascarillas de Grafeno Contra El Coronavirus." 2020. 2020. <https://www.virtualpro.co/noticias/mascarillas-de-grafeno-contra-el-coronavirus>.
- Michels, H. T., J. O. Noyce, and C. W. Keevil. 2009. "Effects of Temperature and Humidity on the Efficacy of Methicillin-Resistant Staphylococcus Aureus Challenged Antimicrobial Materials Containing Silver and Copper." *Letters in Applied Microbiology* 49 (2): 191–95. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2009.02637.x>.
- Michels, Harold T., C. William Keevil, Cassandra D. Salgado, and Michael G. Schmidt. 2015. "From Laboratory Research to a Clinical Trial: Copper Alloy Surfaces Kill Bacteria and Reduce Hospital-Acquired Infections." *Health Environments Research and Design Journal* 9 (1): 64–79. <https://doi.org/10.1177/1937586715592650>.
- Minguillón, María Cruz, Xavier Querol, José Manuel Felisi, and Tomás Garrido. 2020. "Guía Para Ventilación En Aulas."
- "Ncov - JHU CSSE." 2020. 2020. <https://systems.jhu.edu/research/public-health/ncov/>.
- Perdiz, D, P Grof, M Mezzina, O Nikaido, E Moustacchi, and E Sage. 2000. "Distribution and Repair of Bipyrimidine Photoproducts in Solar UV-Irradiated Mammalian Cells. Possible Role of Dewar Photoproducts in Solar Mutagenesis." *The Journal of Biological Chemistry* 275 (35): 26732–42. <https://doi.org/10.1074/jbc.M001450200>.
- Pezzotti, Giuseppe, Eriko Ohgitani, Masaharu Shin-Ya, Tetsuya Adachi, Elia Marin, Francesco Boschetto, Wenliang Zhu, and Osam Mazda. 2020. "Rapid Inactivation of SARS-CoV-2 by Silicon Nitride, Copper, and Aluminum Nitride." <https://doi.org/10.1101/2020.06.19.159970>.
- Riddell, Shane, Sarah Goldie, Andrew Hill, Debbie Eagles, and Trevor W. Drew. 2020. "The Effect of Temperature on Persistence of SARS-CoV-2 on Common Surfaces." *Virology Journal* 17 (1): 145. <https://doi.org/10.1186/s12985-020-01418-7>.
- Solar, IARC. 1992. "Ultraviolet Radiation. Lyon, France: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, International Agency for Research on Cancer." *World Health Organization*.

- Talebian, Sepehr, Gordon G. Wallace, Avi Schroeder, Francesco Stellacci, and João Conde. 2020. "Nanotechnology-Based Disinfectants and Sensors for SARS-CoV-2." *Nature Nanotechnology*. Nature Research. <https://doi.org/10.1038/s41565-020-0751-0>.
- Wang, Mao, Aili Jiang, Lijuan Gong, Lina Luo, Wenbin Guo, Chuyi Li, Jing Zheng, et al. 2020. "Temperature Significant Change COVID-19 Transmission in 429 Cities." *MedRxiv*, February, 2020.02.22.20025791. <https://doi.org/10.1101/2020.02.22.20025791>.
- Warnes, Sarah L., Zoë R. Little, and C. William Keevil. 2015. "Human Coronavirus 229E Remains Infectious on Common Touch Surface Materials." *MBio* 6 (6). <https://doi.org/10.1128/mBio.01697-15>.
- "WHO | UV Radiation." 2016. *WHO*. <http://www.who.int/uv/faq/whatisuv/en/>.
- "WHO | World Health Organization." n.d. Accessed October 31, 2020. <https://www.who.int/>.
- Ye, Guangming, Hualiang Lin, Liangjun Chen, Shichan Wang, Zhikun Zeng, Wei Wang, Shiyu Zhang, et al. 2020. "Environmental Contamination of the SARS-CoV-2 in Healthcare Premises: An Urgent Call for Protection for Healthcare Workers." *MedRxiv*, March, 2020.03.11.20034546. <https://doi.org/10.1101/2020.03.11.20034546>.

9.2 Índice de figuras

Figura 1 - El SARS-CoV-2 visto al microscopio.	6
Figura 2 - Estrategias de control de infección.	7
Figura 3 - La persistencia del SARS-CoV-2 y la temperatura.	10
Figura 4 - Persistencia media del SARS-CoV-2 en diferentes condiciones de temperatura y humedad relativa.	11
Figura 5 - Partículas contagiosas que exhala un enfermo.	14
Figura 6 - Ventilación y capacidad de contagio por aerosoles en un aula.	16
Figura 7 - Ventilación y capacidad de contagio por aerosoles en un bar.	17
Figura 8 - Aplicación de gotas de SARS-CoV-2 en mucosa artificial sobre distintas superficies en el Centro Australiano de Preparación para Enfermedades.	19
Figura 9 - SARS-CoV-2 sobre vinilo.	20
Figura 10 - Persistencia del SARS-CoV-2 y de otros virus sobre plásticos. ..	22
Figura 11 - SARS-CoV-2 sobre acero inoxidable.	23
Figura 12 - Persistencia del SARS-CoV-2 y de otros virus sobre metales.	25
Figura 13 - SARS-CoV-2 sobre vidrio.	26
Figura 14 - Persistencia del SARS-CoV-2 y de otros virus sobre vidrios y cerámicos.	27
Figura 15 - Persistencia del SARS-CoV-2 sobre madera.	28
Figura 16 - Cristales de portlandita vistos en el microscopio.	29
Figura 17 - Cal hidratada $CA(OH)_2$ en polvo.	29
Figura 18 - SARS-CoV-2 sobre algodón.	30

Figura 19 - Persistencia del SARS-CoV-2 sobre textiles.....	31
Figura 20 - SARS-CoV-2 sobre billete australiano de polímero.....	32
Figura 21 - SARS-CoV-2 sobre billete de papel.	32
Figura 22 - Persistencia del SARS-CoV-2 y de otros virus sobre papel y billetes.....	33
Figura 23 - Estabilidad del SARS-CoV-2 según el pH.....	34
Figura 24 - Técnicas y elementos que inactivan al SARS-CoV-2.....	40
Figura 25 - Tecnología d2p y cómo afecta a un virus.	41
Figura 26 - Producto 'Hygitech Biocide' de la casa THU ceiling solutions.....	42
Figura 27 - Placa de cobre impresa en 3d a modo de manilla de una puerta.	43
Figura 28 - Persistencia del SARS-CoV-2 sobre vidrio y acero inoxidable con y sin recubrimiento.....	44
Figura 29 - Acabado exterior del recubrimiento en el pomo de una puerta...	45
Figura 30 - Producto 'COPPER ARMOUR' desarrollado por Atacam Lab.	45
Figura 31 - Producto comercial 'Presto XT ELEC-LM' de la casa Presto Ibérica con tecnología HealthCover Antibacterias.....	46
Figura 32 - Persistencia de bacterias sobre la aleación de titanio con y sin flúor.....	47
Figura 33 - Inactivación del SARS-CoV-2 sobre cobre, nitruro de aluminio y nitruro de silicio.....	48
Figura 34 - Micrografía del polvo AP ²	49
Figura 35 - Producto 'Compacmel Plus' de la casa Finsa.	51
Figura 36 - Producto comercial 'Primer Plus' de la casa Graphenstone.	52
Figura 37 - Producto comercial 'OX-VIRIN Presto al uso' utilizado en la ETSA, UPV.....	54

9.3 Índice de tablas

Tabla 1 - Eficacia de inactivación de los UVR frente al SARS-CoV-1.....	12
Tabla 2 - Ventajas y desventajas de diferentes tipos de sistemas de ventilación en hospitales.	15
Tabla 3 - Persistencia de otros virus sobre la superficie de distintos materiales	35
Tabla 4 - Cuadro resumen de las conclusiones de los estudios de Chin et al (2020), Van Doremalen et al. (2020) y Riddell et al. (2020)	36
Tabla 5 - Eficacia y características de productos desinfectantes.....	53
Tabla 6 - Catálogo de técnicas y materiales biocidas en la actualidad.....	56

9.4 Referencias web de figuras y tablas

- Figura 1 - https://www.niusdiario.es/sociedad/sanidad/coronavirus-covid-19-por-que-se-llama-asi_18_2905095073.html (consultado en octubre, 2020)
- Figura 2 - <https://www.aaha.org/aaha-guidelines/infection-control-configuration/infection-control-strategies/> (consultado en octubre, 2020)

Figura 4 – <https://msphere.asm.org/content/5/4/e00441-20.full> (consultado en octubre, 2020)

Figura 5 – https://elpais.com/ciencia/2020-10-24/un-salon-un-bar-y-una-clase-asi-contagia-el-coronavirus-en-el-aire.html?ssm=TW_CC_MAT (consultado en octubre, 2020)

Figura 6 – https://elpais.com/ciencia/2020-10-24/un-salon-un-bar-y-una-clase-asi-contagia-el-coronavirus-en-el-aire.html?ssm=TW_CC_MAT (consultado en octubre, 2020)

Figura 7 – https://elpais.com/ciencia/2020-10-24/un-salon-un-bar-y-una-clase-asi-contagia-el-coronavirus-en-el-aire.html?ssm=TW_CC_MAT (consultado en octubre, 2020)

Figura 8 – <https://www.csiro.au/en/News/News-releases/2020/CSIRO-scientists-publish-new-research-on-SARS-COV-2-virus-survivability> (consultado en octubre, 2020)

Figura 9 – <https://www.csiro.au/en/News/News-releases/2020/CSIRO-scientists-publish-new-research-on-SARS-COV-2-virus-survivability> (consultado en octubre, 2020)

Figura 11 – <https://www.csiro.au/en/News/News-releases/2020/CSIRO-scientists-publish-new-research-on-SARS-COV-2-virus-survivability> (consultado en octubre, 2020)

Figura 13 – <https://www.csiro.au/en/News/News-releases/2020/CSIRO-scientists-publish-new-research-on-SARS-COV-2-virus-survivability> (consultado en octubre, 2020)

Figura 16 – https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-2-Imagen-de-MEB-de-unos-cristales-hexagonales-de-portlandita_fig2_39389759 (consultado en octubre, 2020)

Figura 17 – <https://www.jardineriaon.com/que-utilidad-tiene-la-cal-para-las-plantas.html> (consultado en octubre, 2020)

Figura 18 – <https://www.csiro.au/en/News/News-releases/2020/CSIRO-scientists-publish-new-research-on-SARS-COV-2-virus-survivability> (consultado en octubre, 2020)

Figura 20 – <https://www.csiro.au/en/News/News-releases/2020/CSIRO-scientists-publish-new-research-on-SARS-COV-2-virus-survivability> (consultado en octubre, 2020)

Figura 21 – <https://www.csiro.au/en/News/News-releases/2020/CSIRO-scientists-publish-new-research-on-SARS-COV-2-virus-survivability> (consultado en octubre, 2020)

Figura 24 – <https://www.nature.com/articles/s41565-020-0751-0> (consultado en octubre, 2020)

Figura 25 – <https://degradable.com.pe/radu-baciu-director-tecnico-del-grupo-symphony-environmental-del-reino-unido-nuestro-agente-activo-d2p-destruye-el-virus-y-no-permite-su-multiplicacion/> (consultado en octubre, 2020)

Figura 26 – https://www.infoedita.es/archivos/img/Gama-Hygitech-pliedos.pdf?utm_campaign=ic-thu-202009&utm_medium=email&utm_source=mail-marketing (consultado en octubre, 2020)

Figura 27 – <https://www.swissinfo.ch/spa/reuters/el-cobre-apunta-contra-el-covid-19-con-recubrimientos-que-matan-diversos-virus/45747766>

(consultado en octubre, 2020)

Figura 28 – <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7385996/>

(consultado en octubre, 2020)

Figura 29 – <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7385996/>

(consultado en octubre, 2020)

Figura 30 – <https://www.atacamalab.com/copia-de-que-es-c-a-4>

(consultado en octubre, 2020)

Figura 31 – <https://www.prestoiberica.com/producto/presto-xt-elec-lm/>

(consultado en octubre, 2020)

Figura 32 – <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2012.12.051> (consultado en octubre, 2020)

Figura 33 – <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2020.06.19.159970v1.full.pdf>

(consultado en octubre, 2020)

Figura 34 – <https://sintx.com/materials/antipathogenic-powder/> (consultado en octubre, 2020)

Figura 35 –

https://www.finsa.com/cs/Satellite?c=CP_Producto_C&cid=1426687132445&d=Touch&pagename=FN_CatalogoProductos%2FCP_Producto_C%2FCP_PTProductoDetalle#catalogo (consultado en octubre, 2020)

Figura 36 – <https://graphenstone.com.es/graphenstone-spain-primerplus.html> (consultado en octubre, 2020)

Tabla 1 – <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/tbed.13707> (consultado en octubre, 2020)

Tabla 2 –

https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2011/ventilacion_natural_spa_25mar11.pdf (consultado en octubre, 2020)

Tabla 3 –

<https://www.journalofhospitalinfection.com/action/showFullTableHTML?isHtml=true&tableId=tbl3&pii=S0195-6701%2820%2930046-3> (consultado en octubre, 2020)