

# Revisión bibliográfica sobre la eficacia y seguridad de la luz ultravioleta y Ozono para la desinfección de superficies

(Actualización)

Informes de Evaluación  
de Tecnologías Sanitarias  
AETS-ISCIH

INFORMES, ESTUDIOS E INVESTIGACIÓN



REVISIÓN  
BIBLIOGRÁFICA SOBRE  
EFICACIA Y SEGURIDAD  
DE LA LUZ  
ULTRAVIOLETA Y  
OZONO PARA LA  
DESINFECCIÓN DE  
SUPERFICIES

(UPDATE)

Informes de Evaluación  
de Tecnologías Sanitarias  
AETS-ISCIH

**INFORMES, ESTUDIOS E INVESTIGACIÓN**



# LITERATURE REVIEW ON EFFICACY AND SAFETY OF ULTRAVIOLET LIGHT AND OZONE FOR SURFACE DISINFECTION (UPDATE)

Health Technologies Assessment  
Reports  
AETS-ISCIII

INFORMES, ESTUDIOS E INVESTIGACIÓN



Revisión bibliográfica sobre eficacia y seguridad de la luz ultravioleta y ozono para la desinfección de superficies. Actualización. García Carpintero EE, Cárdbaba Arranz M, Sánchez Gómez LM. Ministerio de Sanidad. Agencia de Evaluación de Tecnologías Sanitarias del Instituto de Salud Carlos III. 2020.

1 archivo pdf;— (Informes, Estudios e Investigación)

NIPO: 133-20-115-2

Palabras clave: Luz ultravioleta; Ozono; desinfección.

Keywords: Ultraviolet Light; Ozone; disinfection.

### **Convenio de colaboración/financiación:**

Este documento ha sido realizado por la Agencia de Evaluación de Tecnologías Sanitarias del ISCIII en el marco de la financiación del Ministerio de Sanidad para el desarrollo de las actividades del Plan anual de trabajo de la Red Española de Agencias de Evaluación de Tecnologías Sanitarias y Prestaciones del SNS.

El contenido del presente informe es responsabilidad exclusiva de la Agencia de Evaluación de Tecnologías Sanitarias del Instituto de Salud Carlos III sin que la colaboración de los revisores presuponga por su parte la completa aceptación del mismo. Los revisores del documento no suscriben necesariamente todas y cada una de las conclusiones y recomendaciones finales, que son responsabilidad exclusiva de los autores.

### **Para citar este informe:**

García Carpintero EE, Cárdbaba Arranz M, Sánchez Gómez LM. Revisión bibliográfica sobre eficacia y seguridad de la luz ultravioleta y ozono para la desinfección de superficies. Actualización. Agencia de Evaluación de Tecnologías Sanitarias (AETS) - Instituto de Salud Carlos III, Ministerio de Sanidad. Madrid. 2020. Informes de Evaluación de Tecnologías Sanitarias.

### **Revisión del informe**

**Francisco Vargas Marcos.** Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral. Dirección General de Salud Pública, Calidad e Innovación. Ministerio de Sanidad



## Agradecimientos

Este informe de evaluación ha sido sometido a un proceso de revisión interna. La Agencia de Evaluación de Tecnologías Sanitarias del Instituto de Salud Carlos III, agradece a don Francisco Vargas Marcos de la Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral perteneciente a la Dirección General de Salud Pública, Calidad e Innovación del Ministerio de Sanidad, su colaboración desinteresada y los comentarios aportados.

### **Declaración de conflicto de interés:**

Los autores declaran que no ha existido ningún tipo de conflicto de interés en la elaboración de este documento.

Este documento puede ser reproducido total o parcialmente, por cualquier medio, siempre que se cite explícitamente su procedencia.

Edita: Ministerio de Sanidad. Agencia de Evaluación de Tecnologías Sanitarias del ISCIII.



# Índice

RESUMEN .....	11
SUMMARY .....	13
<b>1. Introducción.....</b>	<b>15</b>
1.1. LUZ ULTRAVIOLETA .....	15
1.2. OZONO.....	17
<b>2. Objetivos .....</b>	<b>20</b>
2.1. OBJETIVO GENERAL .....	20
2.2. ALCANCE.....	20
<b>3. Metodología .....</b>	<b>21</b>
3.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE ESTUDIOS .....	21
3.2. FUENTES DE INFORMACIÓN Y ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA .....	22
3.3. SELECCIÓN DE ESTUDIOS.....	22
3.4. EXTRACCIÓN DE DATOS .....	23
3.5. SÍNTESIS DE LOS DATOS .....	23
<b>4. Resultados .....</b>	<b>24</b>
4.1. REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA.....	24
4.2. EFICACIA Y SEGURIDAD DE LA LUZ ULTRAVIOLETA PARA LA DESINFECCIÓN DE VIRUS ...	25
4.3. EFICACIA Y SEGURIDAD DE DISPOSITIVOS DE OZONO PARA LA DESINFECCIÓN DE VIRUS .	53
<b>5. Discusión .....</b>	<b>61</b>
<b>6. Conclusiones .....</b>	<b>67</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>68</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>76</b>
ANEXO 1. ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA .....	76
ANEXO 2. CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTUDIOS INCLUIDOS .....	79
ANEXO 2. CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTUDIOS INCLUIDOS EN LAS REVISIONES SISTEMÁTICAS SOBRE DESCONTAMINACIÓN DE MASCARILLAS .....	91

# Índice de tablas

Tabla 1. Datos de los estudios analizados en Heißling et al (15) .....	26
Tabla 2. Incidencia de infecciones de vías respiratorias altas durante los doce meses con desinfección con dispositivo de UV-C y los doce meses sin desinfección con dispositivo de UV-C. ....	36
Tabla 3. Comparación de las reducciones UFC o UFP ( $\log_{10}$ ) logradas en los portadores de discos de acero por 90 o 180 segundos de exposición a la UV-C de un dispositivo de descontaminación de habitaciones. ....	37
Tabla 4. Concentración media de virus de la gripe en mascarilla tras desinfección con UV-C.....	38
Tabla 5. Eficacia viricida de desinfectantes y radiación ultravioleta sobre Influenza, VRS y SARS-CoV .....	39
Tabla 6. Reducción vírica tras la exposición a UV-C .....	40
Tabla 7. Susceptibilidad a la radiación UV (valor Z) a una humedad relativa del 50% .....	41
Tabla 8. Reducción logarítmica de los principales patógenos hospitalarios tras la desinfección con un dispositivo PX-UV. ....	42
Tabla 9. Dosis de UV necesarias para la reducción viral del 90% y 99% de cuatro tipos de virus .....	44
Tabla 10. Datos reducción de SARS-CoV-2 con UV, PHV y calor seco detenidos por Ludwig-Begall et al (55).....	48
Tabla 11. Resumen de los resultados de Dubuis et al sobre el efecto del ozono a 1,13 ppm $\pm$ 0,26 ppm en los cuatro fagos probados y a 0,23 ppm $\pm$ 0,03 ppm en el MNV-1 a tres niveles de humedad relativa y tres tiempos de exposición. ....	53
Tabla 12. Virus susceptibles al gas ozono + humedad alta (con tasas de inactivación superiores a 3 Log <sub>10</sub> Inactivación) .....	55

# Índice de figuras

Figura 1. Proceso de selección de estudios (diagrama de flujo) .....	24
--	----

## Siglas y acrónimos

ASTM	American Society for Testing and Materials
CRD	Centre for Reviews and Dissemination
CVF	Calicivirus felino
DARE	Database of Abstracts of Reviews of Effects
DICT50	Dosis infectiva del 50% en cultivo de tejidos
ECHA	Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas
ECP	Efecto citopático
EPI	Equipo de Protección Individual
FFP	Filtering Face Piece
HR	Humedad relativa
IBDV	Infectious bursal disease virus
IGUV	Irradiación Germicida de Ultravioleta
IVRA	Infecciones Virales de las vías Respiratorias Altas
LED	Diodo Emisor de Luz
MERS-CoV	Coronavirus del Síndrome respiratorio del Oriente Medio
NR	Norovirus
NVM	Norovirus murino
PA	Presión atmosférica
PX-UV	Luz ultravioleta con lámpara de Xenón
RV	Rinovirus
SARM	<i>Staphylococcus aureus</i> resistente a la meticilina
SARS-CoV	Coronavirus del Síndrome Respiratorio Agudo Grave
SESA	Sociedad Española de Sanidad Ambiental
UFC	Unidades Formadoras de Colonias
UFP	Unidades Formadoras de Placas
UV	Ultravioleta
VHB	Virus de la hepatitis B
VHM	Virus de la hepatitis murina

VHS	Virus del herpes simple
VRS	Virus respiratorio sincitial
WOS	Web of Science

# RESUMEN

## Objetivos

El objetivo de esta revisión bibliográfica es analizar la información disponible sobre la eficacia y seguridad de los dispositivos de luz ultravioleta (UV) y ozono en la desinfección de virus, especialmente en la desinfección del SARS-CoV-2.

## Metodología

Se ha realizado una revisión sistemática (RS) de la información científica recogida en las principales bases de datos biomédicas, PubMed, EMBASE y Cochrane Library, así como en las bases de datos WoS y CRD. También se realizó una búsqueda en las bases de datos de las principales agencias de evaluación de tecnologías sanitarias.

## Resultados

La búsqueda bibliográfica ha permitido incluir 15 estudios sobre la eficacia de la luz ultravioleta y ozono en la desinfección de virus. Una actualización posterior permitió incluir 18 estudios más sobre luz UV y 1 estudio más sobre ozono. Todos estos estudios, menos uno, eran pruebas de laboratorio. Para analizar la eficacia de la radiación UV se han incluido 22 estudios primarios, 4 RS y un informe de evaluación de tecnologías sanitarias. Una RS y 8 estudios primarios analizaban la eficacia de la luz UV para la inactivación del SARS-CoV-2, de los cuales la RS y 6 estudios primarios analizaban la eficacia de la luz UV para la descontaminación de mascarillas filtrantes EPI (Equipo de Protección Individual), también denominadas FFP por sus siglas en inglés (Filtering Face Piece).

Estos estudios concluían que la luz UV era una tecnología adecuada para la inactivar el SARS-CoV-2. Sin embargo, se observó que la inactivación del SARS-CoV-2 dependía del medio en el que se encontraba, y en el caso de las mascarillas EPI del modelo y material del que estaban fabricados. Algunos estudios indicaban que la dosis de luz UV utilizada no era suficiente para inactivar completamente el SARS-CoV-2. Solo un estudio evaluaba la eficacia de la luz en condiciones reales, en concreto en el ámbito hospitalario, pero no se analizaba la desinfección del SARS-CoV-2. Este estudio realizó un análisis de la eficacia de la luz UV para la desinfección del aire de las habitaciones en un hospital pediátrico concluyendo que este tipo de dispositivo puede reducir la incidencia de infecciones en las vías respiratorias altas en niños. Dos de los estudios incluidos analizaron la eficacia de la radiación UV para la desinfección y reutilización de mascarillas. Los resultados de los estudios que evaluaban la desinfección de otros patógenos indicaban que la efectividad de la luz

UV depende del tipo de patógeno. En todos estos estudios se concluye que la luz UV sería eficaz en la reducción de patógenos, aunque sería más efectiva para la desinfección de bacterias que para virus, ya que en algunos casos no se lograba la inactivación completa del virus.

Se han incluido 7 estudios que analizan la eficacia del ozono en la desinfección de virus a escala de laboratorio. No se ha identificado ningún estudio que evalúe la eficacia del ozono en la desinfección del SARS-CoV-2, ni de ningún otro coronavirus. Tampoco se han identificado estudios que analicen la eficacia de la desinfección de virus en el ámbito sanitario. En los estudios incluidos se concluye que el ozono reduce la carga vírica de la superficie donde se aplica, aunque la reducción depende de la dosis de ozono administrada, el tiempo de contacto y la humedad relativa, entre otros factores.

Ambos dispositivos presentan riesgos para la salud. La radiación UV puede causar daños en la piel y en el tejido ocular. El ozono puede producir graves quemaduras en la piel, daños oculares, e incluso provocar daños en los órganos si la exposición es prolongada o repetida.

## Conclusiones

La evidencia disponible sugiere que los dispositivos de luz UV-C podrían inactivar el SARS-CoV-2 de una forma fácil y rápida. Sin embargo, la evidencia disponible es todavía escasa y muy heterogénea.

Los dispositivos de ozono pueden reducir la población de virus en superficies. Sin embargo, no se ha encontrado evidencia sobre la eficacia y seguridad de la desinfección de SARS-CoV-2 de ozono.

Ambos dispositivos implican riesgos para la salud, ya que pueden causar daños oculares, daños en la piel o irritación de las vías respiratorias. En ambos casos, la utilización de los dispositivos debe realizarse de forma controlada. El personal que los utilice tiene que acreditar formación profesional para el uso de estos dispositivos y debe estar equipado adecuadamente, para minimizar el riesgo de la exposición.

Son necesarios más estudios que evalúen la eficacia de ambos dispositivos en la desinfección del SARS-CoV-2 en el ámbito sanitario, para conocer las dosis óptimas necesarias de radiación UV u ozono para lograr su desinfección, así como conocer los efectos secundarios de la utilización de los mismos.

# SUMMARY

## Objective

The aim of this systematic review is to analyze available information about effectiveness and safety of ultraviolet (UV) light and ozone devices for virus disinfection, especially in SARS-CoV-2 disinfection.

## Methodology

A systematic review of the scientific information collected in the main biomedical databases, PubMed, EMBASE and Cochrane Library, as well as in the WoS and CRD databases, has been carried out. A search of the databases of the main health technology assessment agencies was also carried out.

**Results**The bibliographic search has made it possible to include 15 studies on the effectiveness of ultraviolet light and ozone in the disinfection of viruses. A subsequent update made it possible to include 18 more studies on UV light and 1 more study on ozone. All but one of these studies were laboratory tests. To analyse the efficacy of UV radiation, 22 primary studies, 4 SR and one health technology assessment report have been included. One SR and 8 primary studies analysed the efficacy of UV light for the inactivation of SARS-CoV-2, of which the SR and 6 primary studies analysed the efficacy of UV light for the decontamination of FFP masks. These studies concluded that UV light was a suitable technology for the inactivation of SARS-CoV-2. However, it was observed that the inactivation of SARS-CoV-2 depended on the environment in which it was found, and in the case of FFP masks on the model and material from which they were made. Some studies indicated that the dose of UV light used was not sufficient to completely inactivate SARS-CoV-2. Only one study evaluated the efficacy of light under real conditions, in particular in the hospital environment, but no analysis was made of the disinfection of SARS-CoV-2. This study carried out an analysis of the effectiveness of UV radiation in disinfecting rooms in a paediatric hospital and concluded that this type of device can reduce the incidence of upper respiratory tract infections in children. Two of the included studies analysed the effectiveness of UV radiation for disinfection and reuse of masks. Results from studies evaluating disinfection of other pathogens indicated that the effectiveness of UV light depends on the type of pathogen. In all these studies it was concluded that UV would be effective in reducing pathogens, although it would be more effective for disinfecting bacteria than viruses, as in some cases complete inactivation of the virus was not achieved.

Seven studies have been included that analyze the effectiveness of ozone in disinfecting viruses on a laboratory scale. No studies assessing the

efficacy of ozone in disinfecting SARS-CoV-2, or any other coronavirus, have been identified. Nor have any studies been identified that analyze the effectiveness of virus disinfection in the health field. The included studies conclude that ozone reduces the viral load of the surface where it is applied, although the reduction depends on the dose of ozone administered, the contact time and the relative humidity, among other factors.

Both devices present health risks. UV radiation can cause damage to the skin and eye tissue. Ozone can cause severe skin burns, eye damage, and even organ damage if exposure is prolonged or repeated.

## Conclusions

The evidence suggests that UV devices could inactivate SARS-CoV-2 easily and quickly. However, the available evidence is still scarce and very heterogeneous. Ozone devices can reduce the virus population on surfaces. However, no evidence has been found on the effectiveness and safety of ozone SARS-CoV-2 disinfection.

Both devices imply health risks, as they can cause eye damage, skin damage or respiratory tract irritation. In both cases, the use of the devices must be controlled. The personnel who use them have to accredit professional training for the use of these devices and must be adequately equipped, to minimize the risk of exposure.

Further studies are needed to evaluate the effectiveness of both devices in disinfecting SARS-CoV-2 in the health sector, in order to know the optimum doses of UV radiation or ozone needed to achieve disinfection, as well as to know the side effects of using them.

# 1.Introducción

## Descripción de la tecnología

### 1.1.Luz Ultravioleta

La luz ultravioleta (UV) es una forma de radiación electromagnética con más energía que la luz visible, pero menos energía que los rayos X. Se clasifican en tres tipos en función de la longitud de onda:

- UV-A (315-400 nm)
- UV-B (280-315 nm)
- UV-C (100-280 nm)

Los microorganismos son sensibles a longitudes de onda cercanas a las 253.7 nm, porque las moléculas de ADN absorben la radiación a un máximo de 260 nm (1).

La energía de la radiación UV-C puede dañar el ADN y ARN ya que produce la formación de dímeros de pirimidina que pueden interferir con la duplicación del ADN, así como conducir a la destrucción de los ácidos nucleicos y hacer que los virus no sean infecciosos (1).

La cantidad de inactivación de patógenos en superficies es directamente proporcional a la dosis de radiación UV-C, donde la dosis se define como el producto de la intensidad ( $W/m^2$ ) por la duración de la exposición (s) (2). La dosis de luz UV necesaria varía en función del patógeno que se quiera desinfectar, y también depende de las condiciones ambientales como por ejemplo, la humedad relativa (3).

Actualmente no existe un consenso sobre la cantidad de radiación requerida para la inactivación del SARS-CoV-2, aunque se estima que la dosis de luz UV requerida para la inactivación del 90% de los virus ssARN, como el SARS-CoV-2, es de 1,32-3,20  $Jcm^{-2}$  (2).

Según la Comisión Internacional de la Iluminación, CIE, hay estudios que han demostrado que una radiación ultravioleta germicida (IGUV) de 254 nm es eficaz para desinfectar las superficies contaminadas con el virus del Ébola (4-6). Por otro lado, otro estudio demostró la eficacia de la IGUV durante un brote de gripe en el Hospital de Veteranos de Livermore (7). Aunque la CIE señala que, a pesar de las investigaciones en curso,

actualmente no hay datos publicados sobre la eficacia de la IGUV frente al SARS-CoV-2.

La radiación UV-C permite inactivar microorganismos sobre superficies, aire o agua pero los rayos UV deben incidir directamente sobre el patógeno (8). Los organismos situados debajo de la superficie del agua o que no reciban la UV directamente no serán destruidos.

Se pueden clasificar los dispositivos de luz UV para desinfección en función del tipo de lámpara utilizada:

- Lámpara de Mercurio. Se caracterizan por contener mercurio sólido puro o una amalgama. Se pueden encontrar dos tipos de lámpara de mercurio, las que operan a baja presión (1PA) y las que operan a media-alta presión (100 kPA).
- Tecnología Excimer. Se caracteriza por estar libre de mercurio. En las lámparas de UV-C los exímeros (dímeros excitados) producidos son heterodímeros de un gas noble y alógeno. Esas lámparas son de baja eficiencia.
- UV-C LEDS. Un LED es un diodo emisor de luz que se compone de un dispositivo compacto de un material semiconductor como GaAS, GaP o INP, que puede emitir luz en el espectro UV.
- Lámpara de luz pulsada. Pueden ser tubos de luz o LEDs.
- Lámparas de Deuterio. Las lámparas de arco de deuterio molecular pueden emitir radiación en un espectro continuo. Presenta un importante poder radiante, son ligeras y compactas.

Un tipo especial de dispositivos de luz UV, son los sistemas de desinfección con luz pulsada con lámparas de xenón, que emiten en un espectro de 200-1100 nm. Se diferencian de los dispositivos de desinfección con UV de luz continua porque tienen una mayor intensidad y usa un amplio rango de radiación logrando una descontaminación más efectiva (8).

La luz UV-C viaja en línea recta y es menos eficaz en las superficies que se encuentran fuera de la trayectoria directa de los rayos de luz, por lo que el dispositivo debe colocarse en el centro de la habitación (8). Algunos fabricantes recomiendan ciclos múltiples desde diferentes lugares para garantizar una desinfección suficiente (9). Algunos sistemas de luz UV-C contienen sensores para medir la cantidad de luz UV-C que se refleja en el dispositivo para confirmar la administración de una dosis determinada.

Existen dispositivos de luz ultravioleta para las zonas superiores de las habitaciones, que se han utilizado para las infecciones de transmisión aérea, por ejemplo, la tuberculosis. Puede utilizarse con pacientes

presentes en la habitación, pues al funcionar en altura es capaz de reducir la concentración de organismos en la habitación sin exponer a los ocupantes de la misma a una cantidad significativa de radiación UV (8).

Hasta ahora, las investigaciones relacionadas con la irradiación germicida de ultravioleta (IGUV) para virus sólo evaluaban la inactivación de los virus en el agua (24-26) y en el aire;(27), determinando que la IGUV inactivaría eficazmente los virus en el agua y en sus fases aéreas. El tipo de ácido nucleico viral juega un papel importante en la inactivación. Además, los mecanismos de reparación de las células huésped, y la estructura de la cápside del virus juegan un papel importante en la inactivación del vírica (26).

La Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones No Ionizantes (10) publicó directrices para la exposición ocupacional a la radiación UV, incluida la radiación UV-C: La exposición a la radiación UV en ojos/piel sin protección no debe exceder de 30 J/m<sup>2</sup> para una radiación de 270 nm, la longitud de onda en que la función de ponderación espectral para el peligro de la radiación UV actínica en la piel y el ojo es máxima. Dado que el peligro de la radiación UV depende de la longitud de onda, el límite máximo de exposición para una radiación de longitud de onda de 254 nm es de 60 J/m<sup>2</sup>. Para una radiación con una longitud de onda de 222 nm, el límite máximo de exposición (peligro de UV actínico) es aún mayor, unos 240 J/m<sup>2</sup>.

En nuestro país se ha publicado una ESPECIFICACION UNE 0068:2020 sobre los “Requisitos de seguridad para aparatos UV-C utilizados para la desinfección de aire de locales y superficies” (11).

## **1.2.Ozono**

El ozono (O<sub>3</sub>) es un gas de olor acre y generalmente incoloro que se origina a partir del gas oxígeno (O<sub>2</sub>) al exponerse a un campo eléctrico. Cuando esto ocurre, el O<sub>2</sub> se carga eléctricamente, rompiéndose el enlace entre los átomos y reaccionando cada uno de estos con otra molécula de oxígeno, formándose así O<sub>3</sub> con una carga eléctrica negativa. Este método se utiliza comúnmente para la desinfección de aguas residuales. El ozono es un oxidante y viricida muy fuerte. Los mecanismos de desinfección que utilizan el ozono incluyen (12):

- Oxidación directa/destrucción de la pared celular con fugas de componentes celulares al exterior de la célula.
- Las reacciones con los subproductos radicales de la descomposición del ozono

- El daño a los componentes de los ácidos nucleicos (purinas y pirimidinas).

La eficacia de la desinfección depende de la susceptibilidad de los organismos objetivo, el tiempo de contacto y la concentración del ozono (12).

Los componentes de un sistema de desinfección de ozono incluyen la preparación del gas de alimentación, la generación de ozono, el contacto con el ozono y la destrucción del ozono (12).

Se utiliza aire u oxígeno puro como fuente de gas de alimentación y se pasa al generador de ozono a una velocidad de flujo establecida. La fuente de energía para la producción se genera mediante una descarga eléctrica en un gas que contiene oxígeno (12).

Los generadores de ozono se clasifican típicamente por (12):

- El mecanismo de control (ya sea un voltaje o unidad de frecuencia).
- El mecanismo de refrigeración (ya sea agua, aire o agua más aceite).
- La disposición física de los dieléctricos (ya sea vertical u horizontal).

Los equipos, grandes o pequeños se dividen entre su capacidad de producción y de concentración, yendo desde los 3g o 5g, por ejemplo, desde pequeños cañones para eliminar con los olores molestos, hasta portátiles de 40g y hasta 70g/m<sup>3</sup> de concentración. Una inmensa mayoría de estos equipos requirieren de la presencia física de un operario que los manipule.

El ozono está catalogado por la Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas (ECHA) como una sustancia biocida que se genera in-situ y que en estos momentos se está evaluando a nivel comunitario como desinfectante para su aprobación para los tipos de producto 2, 4, 5 y 11.

El ozono puede provocar daños en la salud. Según la información de la ECHA, esta sustancia es mortal si se inhala, causa graves quemaduras en la piel, provoca daños en los órganos por una exposición prolongada o repetida, es muy tóxica para la vida acuática con efectos duraderos, puede causar o intensificar el fuego (comburente) y causa graves daños en los ojos (13).

Además, la clasificación proporcionada por las empresas a la ECHA en las notificaciones del CLP (Reglamento (CE) nº 1272/2008 de 16 de diciembre de 2008, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas) identifica que esta sustancia causa grave irritación ocular, se sospecha que causa defectos genéticos, puede causar daños a los órganos por exposición prolongada o repetida, causa irritación de la piel y puede causar irritación respiratoria (13).

Para la utilización de equipos de ozono es necesario que el personal que lo utiliza lleve medidas de protección adecuadas como ropa de protección, guantes y protectores oculares (13).

## 2.Objetivos

### 2.1.Objetivo general

Realizar una revisión bibliográfica sobre la eficacia y seguridad de la desinfección con luz ultravioleta y ozono en el ámbito sanitario.

### 2.2.Alcance

Este informe de evaluación trata de llevar a cabo una revisión de la literatura para responder a diferentes cuestiones sobre la eficacia y seguridad de los dispositivos de luz ultravioleta u ozono en la desinfección de superficies u objetos en el ámbito sanitario.

# 3. Metodología

Se realizó una Revisión Sistemática (RS) de la literatura científica en distintas bases de datos.

## 3.1. Criterios de selección de estudios

El proceso de selección de estudios se realizó por pares, de forma independiente. Los desacuerdos se resolvían por consenso o asistencia de un revisor.

### 3.1.1. Criterios de inclusión

Para la selección de estudios se aplicaron los siguientes criterios de inclusión:

#### **Tipo de estudios**

Revisiones sistemáticas, meta-análisis, informes de evaluación de tecnologías sanitarias y estudios primarios que evalúen la eficacia y seguridad de la desinfección de virus, especialmente el SARS-CoV-2 y otros coronavirus, con luz ultravioleta u ozono en el ámbito clínico.

#### **Idioma de la publicación**

Los artículos debían estar publicados en español o inglés.

#### **Año de la publicación**

Se incluirán los estudios publicados desde enero de 2000.

### 3.1.2. Criterios de exclusión

Los trabajos que cumplen alguno de los siguientes criterios fueron excluidos de la revisión:

- Estudios que no cumplen los criterios de inclusión o no ofrecen datos evaluables relacionados con las medidas de resultado seleccionadas.
- Estudios duplicados o desfasados por estudios posteriores de la misma institución.

- Revisiones narrativas, editoriales, resúmenes y comunicaciones a congresos, cartas al director y artículos de opinión.
- Idioma no incluido en la estrategia de búsqueda.

## 3.2. Fuentes de información y estrategia de búsqueda

La identificación de estudios se ha realizado mediante una búsqueda de la literatura científica realizada desde el 7/5/2020 hasta el 8/5/2020, en las siguientes bases de datos electrónicas:

- PubMed
- Embase
- Web of Science (WOS)
- Cochrane Database of Systematic Reviews (Cochrane Library)
- Cochrane Central Database of Controlled Trials-Central
- DARE (Database of Abstracts of Reviews of Effects), Health Technology Assessment (HTA) Database y NHS-EED (National Health System Economic Evaluation Database) Centre for Reviews and Dissemination (CRD)

Asimismo, se han llevado a cabo búsquedas en el registro de estudios clínicos (clinicaltrials@gov) y de literatura gris en las páginas web de:

- INAHTA (<http://www.inahta.org/about-nahta/>)
- CADTH (Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health) (<https://www.cadth.ca/>)
- AHRQ (<http://www.ahrq.gov/research/index.html>)
- NICE: <https://www.nice.org.uk>
- FDA: <https://www.fda.gov/>

Para la identificación de estudios se han diseñado diferentes estrategias de búsqueda, adaptadas a cada fuente de información, combinando términos MESH y texto libre, junto a diferentes operadores booleanos y de truncamiento (véase anexo 1).

Las referencias bibliográficas se gestionaron a través del gestor bibliográfico Endnote.

## 3.3. Selección de estudios

Dos revisores seleccionaron de forma independiente los estudios a partir de la lectura de los títulos y resúmenes localizados a través de la

búsqueda de la literatura. Aquellos artículos seleccionados como relevantes fueron analizados de forma independiente por los dos revisores, que los clasificaron como incluidos o excluidos de acuerdo con los criterios de selección especificados. Los dos revisores contrastaron sus opiniones y cuando hubo dudas o discrepancias éstas fueron resueltas mediante consenso.

### **3.4. Extracción de datos**

Los datos de los estudios incluidos se han extraído utilizando un formulario elaborado específicamente en formato EXCEL para este informe, con el que se elaboraron las correspondientes tablas de evidencia. Este formulario recoge las variables más importantes relacionadas con los objetivos generales y específicos de este informe:

- Características generales del estudio, datos bibliométricos: autor principal, año de publicación, país donde se realizó el estudio, periodo de estudio.
- Ámbito donde se realiza el estudio: Hospital o laboratorio
- Tecnología analizada
- Patógeno estudiado

La extracción de datos de los estudios seleccionados se ha realizado por pares, de forma independiente.

### **3.5. Síntesis de los datos**

La información recopilada fue resumida a través de una síntesis narrativa con tabulación de resultados de los estudios incluidos.

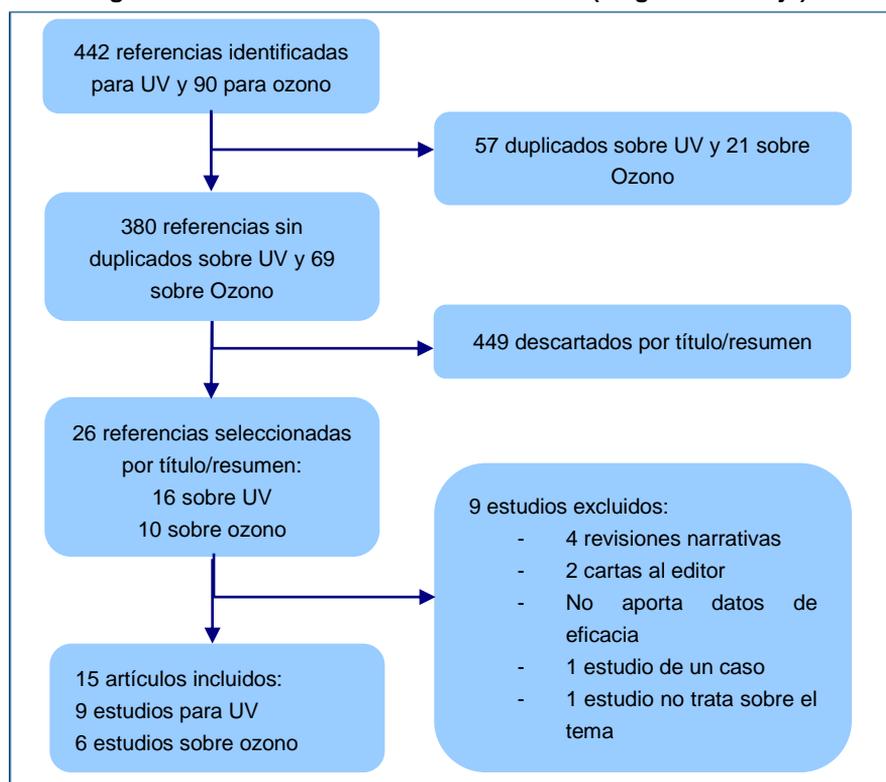
# 4. Resultados

## 4.1. Revisión sistemática de la literatura

La revisión sistemática de la literatura permitió identificar 442 referencias sobre radiación ultravioleta (129 referencias en PubMed, 156 en EMBASE y 157 en WoS) y 90 sobre ozono (80 referencias en PubMed, 48 en EMBASE y 14 en WoS). Tras eliminar duplicados se revisaron 380 referencias sobre luz ultravioleta y 69 sobre ozono para su selección tras lectura de título y resumen. Tras la selección por título y resumen se descartaron 449 referencias.

Se han seleccionado 8 estudios primarios para el análisis de eficacia de la desinfección con luz UV para virus y un informe de evaluación de tecnologías sanitarias para el análisis de seguridad. Para el análisis de la eficacia del ozono se han incluido 6 estudios primarios.

**Figura 1. Proceso de selección de estudios (diagrama de flujo)**



En octubre de 2020 se realizó una actualización de la información publicada sobre el uso de radiación UV y ozono para la desinfección de superficies durante la pandemia producida por el SARS-CoV-19.

La nueva búsqueda permitió identificar 268 referencias sobre radiación UV y 127 sobre ozono. Tras la eliminación de los duplicados se revisaron 193 estudios sobre radiación UV y 103 estudios sobre ozono. Tras la lectura de título y resumen se seleccionaron 82 estudios sobre luz UV y 10 estudios sobre ozono. Finalmente, tras la lectura a texto completo de los estudios se incluyeron 4 Revisiones sistemáticas y 14 estudios sobre radiación UV y un estudio sobre la utilización del ozono.

## **4.2.Eficacia y Seguridad de la Luz Ultravioleta para la desinfección de virus**

### **Eficacia de la Luz Ultravioleta para la desinfección de virus**

La primera búsqueda sistemática permitió identificar 9 estudios que analizaron la eficacia de la luz ultravioleta en la desinfección de virus. En la actualización, se han identificado varias revisiones sistemáticas sobre la desinfección de mascarillas para su reutilización durante la pandemia producida por la COVID-19 y 14 estudios primarios. Sólo uno de los estudios se realizó en ámbito hospitalario (14), el resto de estudios se realizaron a escala de laboratorio. En el anexo 3 se recogen las principales características y conclusiones de estos estudios.

### **Revisiones sistemáticas sobre eficacia de la luz ultravioleta para la desinfección de virus**

#### **Revisiones sobre foto-inactivación de virus**

La RS de Heißling (15) tiene como objetivo analizar la cantidad de radiación de UV necesaria para la inactivación del SARS-CoV-2 y otros coronavirus. Los autores identificaron 30 publicaciones sobre la foto-inactivación de coronavirus, que incluían CoV, SARS-CoV y MERS-CoV, cuyos resultados se recogen en la tabla X. La mayoría de los estudios incluidos fueron realizados con lámpara de vapor de mercurio, con un pico de emisión de 254 nm (UV-C). El objetivo de la mayoría de los estudios, incluidos por Heißling et al. (15), no era investigar las dosis de reducción logarítmica de los coronavirus, sino la inactivación del virus en diversas condiciones de uso. Por este motivo, fue difícil determinar las dosis

específicas para la reducción logarítmica de algunos de los estudios incluidos.

**Tabla 1. Datos de los estudios analizados en Heißling et al (15)**

<b>Virus (referencia)</b>	<b>Longitud de onda (nm)</b>	<b>Dosis de irradiación para inactivación (mJ/cm<sup>2</sup>)*</b>	<b>Estado de la muestra</b>
<b>Coronavirus Humano (HCoV-229-E) (16)</b>	222	0,56	aerosol
<b>Coronavirus Humano (HCoV-OC43) (16)</b>	222	0,39	aerosol
<b>Coronavirus Murino (17)</b>	254	0,56	aerosol
<b>MERS-CoV (18)</b>	254	Inactivación satisfactoria (a)	gotas
<b>Coronavirus de bronquitis infecciosa (IBV) (19)</b>	254	13,84	superficie
<b>Coronavirus murino (MHV A59) (18)</b>	254	Inactivación satisfactoria (a)	superficie
<b>Virus de la gastroenteritis transmisible (20)</b>	254	Inactivación satisfactoria (a)	superficie
<b>Virus de la gastroenteritis transmisible (20)</b>	Luz diurna	Inactivación satisfactoria (a)	superficie
<b>SARS-CoV (21)</b>	254	Inactivación satisfactoria (a)	Líquido (solución salina)
<b>Torovirus Berne (ToV P138/72) (22)</b>	254	1,25	Líquido (capa fina de cultivo celular con suero bobino fetal)
<b>Coronavirus canino (CCoV I-71) (23)</b>	254	10,55	Líquido (capa fina de cultivo celular con suero bobino fetal)

<b>Virus (referencia)</b>	<b>Longitud de onda (nm)</b>	<b>Dosis de irradiación para inactivación (mJ/cm<sup>2</sup>)*</b>	<b>Estado de la muestra</b>
<b>Coronavirus murino (MHV-2) (24)</b>	254	1,54	Líquido (capa fina de cultivo celular con suero bobino fetal)
<b>Coronavirus murino (MHV-2) (23)</b>	254	8,67	Líquido (capa fina de cultivo celular con suero bobino fetal)
<b>Coronavirus murino (MHV-N) (23)</b>	254	12,1	Líquido (capa fina de cultivo celular con suero bobino fetal)
<b>Virus de la gastroenteritis transmisible (25)</b>	254	3,68	Líquido (con 10% concentra de plaquetas sanguíneas)
<b>Virus de la gastroenteritis transmisible (25)</b>	254	11,36	Líquido (con 10% concentra de plaquetas sanguíneas)
<b>Coronavirus Canino (CCOV S378) (25)</b>	254	1473	Líquido (medio de cultivo celular con suero bovino en PMT)
<b>Coronavirus Humano (HCoV-229E) (26)</b>	254	Inactivación satisfactoria (a)	Líquido (medio de cultivo celular con suero)
<b>Coronavirus Humano (HCoV-OC43) (26)</b>	254	Inactivación satisfactoria (a)	Líquido (medio de cultivo celular con suero)
<b>Coronavirus de bronquitis infecciosa (IBV-10) (26)</b>	254	Inactivación satisfactoria (a)	Líquido (medio cultivo celular)

<b>Virus (referencia)</b>	<b>Longitud de onda (nm)</b>	<b>Dosis de irradiación para inactivación (mJ/cm<sup>2</sup>)*</b>	<b>Estado de la muestra</b>
<b>MERS-CoV EMC2012 (27)</b>	254	27,47	Líquido (concentrado de plaquetas sanguíneas)
<b>Coronavirus murino (28)</b>	254	6,67	Líquido (medio de cultivo celular sin suero)
<b>Virus de la diarrea epidémica porcina (29)</b>	254	Inactivación satisfactoria (a)	Líquido (plasma sanguíneo)
<b>SARS-CoV-Frankfurt 1 (30)</b>	254	17,54	Líquido (concentrado de plaquetas sanguíneas)
<b>SARS-CoV-Hanoi (31)</b>	254	22,67	Líquido (medio de cultivo celular con suero bovino en PMT)
<b>SARS-CoV-P9 (32)</b>	254	40,5	Líquido (medio de cultivo celular con suero bovino en PMT)
<b>SARS-CoV-Urbani (33)</b>	254	321	Líquido (medio de cultivo celular con suero bovino en PMT)
<b>SARS-CoV-Urbani (34)</b>	254	1135	Líquido (solución salina en PMT)
<b>SARS-CoV-Urbani (34)</b>	254	11754	Líquido (solución salina con albúmina de suero bovino)

<b>Virus (referencia)</b>	<b>Longitud de onda (nm)</b>	<b>Dosis de irradiación para inactivación (mJ/cm<sup>2</sup>)*</b>	<b>Estado de la muestra</b>
<b>SARS-CoV-Urbani (33)</b>	254	4800	Líquido (medio de cultivo celular con suero bovino en PMT)
<b>Coronavirus bovino (35)</b>	254	0,6	No informado
<b>Coronavirus canino (35)</b>	254	0,6	No informado
<b>Coronavirus de bronquitis infecciosa (35)</b>	254	23	No informado
<b>Coronavirus de la bronquitis infecciosa</b>	254	23	No informado
<b>Coronavirus respiratorio porcino (35)</b>	254	1,3	No informado
La dosis de irradiación con UV necesaria para una inactivación vírica del 90%. (a) Información de la dosis no indicada. MERS: Coronavirus del síndrome respiratorio de Oriente Medio. PMT: placas microtiter. SARS-CoV: Coronavirus del síndrome respiratorio agudo grave			

Los resultados de esta revisión mostraban una gran variabilidad en las dosis necesarias para la inactivación de coronavirus, que iban desde 0,6 mJ/cm<sup>2</sup> (coronavirus bovino) hasta 11.754 mJ/cm<sup>2</sup> (SARS CoV Urbani). Se observó variabilidad entre las cepas del SARS-CoV que podían estar por encima de dos órdenes de magnitud en cuanto a la dosis necesaria. Según los autores (15), esta variabilidad es debida al material sobre el que se realizó la experimentación, observando que cuando se realizaba sobre superficies o aerosoles la dosis de radiación UV necesaria era menor. El otro factor que puede influir en la variabilidad observada de la dosis necesaria de UV, es que algunos estudios realizaron experimentos de irradiación en placas microtiter, que pueden dificultar la medición de la intensidad si dichas placas se encuentran muy cerca de la fuente de irradiación.

Heißling et al. (15) calcularon una dosis de UV-C para la reducción logarítmica de coronavirus de 10,6 mJ/cm<sup>2</sup> (promedio 11,9±11,4 mJ/cm<sup>2</sup>). Estos valores fueron calculados sin los datos del torovirus y los valores atípicos, pero incluían virus en medios que probablemente tenían una mayor absorción de UV-C, lo que lleva a una reducción de la fotoactivación. Los autores realizaron nuevos cálculos, excluyendo los

medios de mayor absorción, llegando a una dosis de radiación para una reducción logarítmica de 3,7 mJ/cm<sup>2</sup> (promedio de 5,8±5,5 mJ/cm<sup>2</sup>).

Heißling et al. (15) concluyen que la radiación UV-C es efectiva contra los coronavirus, aunque la inactivación depende de las propiedades de absorción de los medios de utilizados. La dosis media de reducción logarítmica (en medios de baja absorción) fue es 10,6 mJ/cm<sup>2</sup>, pero los autores indican que la estimación más precisa es de 3,7 mJ/cm<sup>2</sup>.

Los resultados de los estudios incluidos analizaban diferentes coronavirus, incluyendo el SARS-CoV y el MERS-CoV, pero no el SARS-CoV-2. Sin embargo, los autores indican que se puede suponer que los resultados también son aplicables para el SARS-CoV-2 y todas las mutaciones futuras. Las mutaciones de ARN podrían tener una fuerte influencia en la patogenicidad de un virus, pero no dan lugar a mayores diferencias estructurales, especialmente en lo que respecta a las propiedades de absorción de los rayos UV del ARN, que son la principal causa del efecto antiviral de la radiación ultravioleta.

### **Revisiones sobre desinfección de mascarillas**

La búsqueda sistemática ha permitido identificar cuatro revisiones sistemáticas (36-39) publicadas en 2020 cuyo objetivo era analizar cuál es el mejor método de desinfección de mascarillas autofiltrantes frente a partículas y aerosoles líquidos o mascarillas EPI para su reutilización debido a la escasez de equipamiento de protección personal a consecuencia de la gran demanda producida por la pandemia de la COVID-19.

Las mascarillas EPI tienen como finalidad filtrar el aire inhalado evitando la entrada de partículas contaminantes en nuestro organismo. Según su eficacia de filtración pueden ser de tres tipos: EPI1, EPI2, y EPI3. Por su parte, aquellas con filtros contra partículas se dividen en P1, P2 y P3.

Los estudios y resultados principales sobre el efecto de la descontaminación con UV de las mascarillas EPI de los estudios incluidos en estas RS se encuentran recogidos en el anexo 2.

La revisión rápida de Derraik et al. analizó la viabilidad del virus SARS-CoV-2, la eficacia de los procedimientos de desinfección contra el virus, con especial énfasis en la radiación UV y el calor, y el impacto de estos procesos en el rendimiento de las mascarillas EPI, la integridad del material y el ajuste. Es la única de las RS incluidas que evalúa la eficacia de la radiación UV sobre la inactivación del SARS-CoV-2.

Esta revisión incluyó siete estudios que analizaban la eficacia de la IGUV (irradiación germicida UV) frente al SARS-CoV-1 (21, 27, 33, 34, 40-42) y seis estudios que evaluaban la eficacia frente al SARS-CoV-2 (43-48).

En los estudios incluidos para evaluar la eficacia de desinfección de la IGUV frente al SARS-CoV-1, la dosis de UV varió entre los 300 a 14.500 mJ/cm<sup>2</sup>. Los resultados de la inactivación fueron muy variables. El estudio que empleó una dosis de IGUV de 300 mJ/cm<sup>2</sup> informó de un efecto citopático indetectable tras el tratamiento (40). Por el contrario, los resultados de un estudio que aplicó 14.500 mJ/cm<sup>2</sup> en una solución de alto contenido proteico indicaron que no había una inactivación completa del SARS-CoV-1 (34).

Derraik et al. (36) destacan que la mayoría de estos estudios se realizaron en medios de cultivo o en condiciones que no reflejaban los microambientes en los se encontrarían las mascarillas EPI y otros equipos de protección personal. Por lo que concluyen que estos hallazgos deben interpretarse en el contexto apropiado y considerarse orientativos.

Respecto a la inactivación del SARS-CoV-2, los estudios incluidos emplearon dosis de UV-C que variaban entre los 192 mJ/cm<sup>2</sup> y los 1500 mJ/cm<sup>2</sup>. Uno de los estudios incluidos informó de la inactivación del SARS-CoV-2 con una dosis de UVC de 1048 mJ/cm<sup>2</sup> en un medio líquido, con una reducción mayor de 6,7 log<sub>10</sub> (44). Sin embargo, tres de los estudios incluidos mostraron que la descontaminación de las mascarillas EPI con UV-C no era totalmente eficaz contra el SARS-CoV-2 (43, 46, 48).

Derraik et al. (36) indican que, si bien no hay duda de que la UV-C es efectiva contra el SARS-CoV-1 y el SARS-CoV-2, la efectividad de la dosis aplicada (en función de la irradiación y el tiempo) parece depender en gran medida de muchos factores, como la concentración del virus, el tamaño del inóculo, el medio del virus, y la forma y material de las mascarillas EPI.

En la RS de Derraik et al. (36) también se analiza el impacto de la desinfección con UV en las mascarillas EPI. Identificaron 13 estudios y dos informes sin revisión por pares que evaluaban los efectos de la IGUV en el rendimiento y estructura de las mascarillas filtrantes. Estos estudios evaluaban parámetros como la eficacia del filtrado de partículas de las mascarillas, la resistencia del material y el ajuste.

La metodología de exposición para la IGUV varió un poco, desde un solo ciclo hasta 20 ciclos, o la exposición de la IGUV a la superficie exterior de los respiradores o a ambas superficies.

Siete estudios incluidos por Derraik et al. (36) (con dosis de UV-C aplicadas que oscilaban entre 180 y 6900 mJ/cm<sup>2</sup>) informaban de efectos insignificantes en la penetración de aerosoles en las mascarillas EPI o en la resistencia del flujo de aire del filtro, el ajuste, la detección de olores, la comodidad, o el aspecto físico de las mascarillas. .

Sin embargo, Derraik et al. concluyen que, si bien parece que en general las mascarillas EPI soportarán una dosis total de UV-C aplicada de 20.000 mJ/cm<sup>2</sup>, las pruebas demuestran que los resultados de un modelo no pueden extrapolarse a otros.

Derraik et al. (36) también evaluaron la desinfección de otros equipos de protección personal como mascarillas quirúrgicas, batas de aislamiento, gafas y otras formas de protección de los ojos o protectores de la cara. La información disponible sobre la desinfección de mascarillas quirúrgicas con UV indica que no sería recomendable debido a su diseño plegado que impide el acceso de la radiación en determinadas zonas de la mascarilla. Los autores no identificaron estudios sobre la efectividad o efecto de la desinfección con UV de las batas, protectores oculares o pantallas faciales.

Derraik et al. (36) concluyen que hay evidencia suficiente para apoyar la desinfección y la posible reutilización de las mascarillas filtrantes y otros equipos de protección, en el actual escenario de pandemia cuando sea necesario. Sin embargo, los resultados de los autores indican que la UV-C no sería útil para todos los tipos de mascarillas EPI ni para los equipos de protección analizados.

Los autores también concluyen que la desinfección con un método de desinfección adecuado de las mascarillas EPI y otros equipos de protección persona no sólo abordaría el problema del suministro a corto plazo, sino que también produciría un ahorro de costes a largo plazo. Por otro lado, los autores consideran que se mejoraría la huella ambiental (36).

La RS de O'Hearn et al. (37) tiene como objetivo evaluar la IGUV como método de descontaminación de virus o bacterias, evaluar el impacto de la IGUV en el rendimiento de las mascarillas EPI y describir las mediciones u observaciones relacionadas con el ajuste o la degradación física. Los autores reunieron 13 estudios, de los cuales 5 se incluyeron en un meta-análisis.

Respecto a la capacidad germicida de la radiación UV, se incluyeron siete estudios, de los cuales 6 analizaban el efecto sobre virus y 1 sobre bacterias (incluidos también en las RS de Seresirikachorn et al. (38) y Yang et al. (39)). Los patógenos virales más utilizados fueron MS2 y el virus

H1N1. Todos los estudios utilizaron un único ciclo de descontaminación. La suma total de los grupos de intervención de todos los estudios revisados fue de 30.

Los estudios analizados probaron dosis de radiación UV que oscilaron entre los 1.500 y los 72.000 J/m<sup>2</sup>. En el 50% de los grupos analizados el medio utilizado fue el agua frente a un 74% que utilizaron otros medios como saliva artificial, carne de vacuno o 271B. O'Hearn et al. (37) dividieron los resultados de los grupos de los estudios incluidos en tres grupos: los que recibieron una dosis inferior a 20.000 J/m<sup>2</sup> que incluía 15 grupos, los grupos que recibieron una dosis superior a 20.000 J/m<sup>2</sup> que incluía 7 grupos, y los que recibieron una dosis superior a 40.000 J/m<sup>2</sup> que incluía 8 grupos.

En los grupos en los que se administró una dosis mayor a 20.000 J/m<sup>2</sup> o 40.000 J/m<sup>2</sup> se observó una reducción media de la carga viral de  $3,61 \pm 0,99$ , mayor que la reducción observada en los que se administró una dosis inferior a los 20.000 J/m<sup>2</sup>, cuya reducción de la carga viral fue de  $3,14 \pm 1,09$ . O'Hearn et al. (37) sugieren que la dosis acumulativa de la IGUV parece tener un mayor efecto sobre la carga viral en aquellos ensayos de laboratorio en los que las partículas virales se aplicaron a la mascarilla en entornos acuosos, que sería el entorno más similar a la práctica clínica. Los autores recomiendan que en aquellos casos del entorno clínico en los que las mascarillas estén visiblemente sucias se desechen en lugar de descontaminarse y reutilizarse, ya que el efecto de la IGUV puede ser limitado (37).

O'Hearn et al. (37) también evaluaron la penetración de partículas, la resistencia al flujo de aire y las características físicas de las mascarillas tras la IGUV.

Respecto a la penetración de partículas, los estudios incluidos encontraron una penetración de partículas media de las mascarillas tras el tratamiento con la IGUV de 1,13% (rango: 0,57 a 2,63%) frente a una penetración media de 1,19 (rango: 0,70 a 2,48%) del grupo control que no recibió la IGUV. Los resultados del meta-análisis realizado por O'Hearn et al. (37) mostraron una diferencia media entre el grupo control y el grupo tratado con la IGUV de -0,08 (IC95%: -0,26 a 0,10), indicando que no había diferencias significativas en la penetración de partículas de las mascarillas EPI.

Respecto a la resistencia al flujo de aire, los estudios incluidos mostraron que las mascarillas tratadas con la IGUV presentaban una resistencia media al flujo de aire de 10,20 mm H<sub>2</sub>O (rango: 7,98 a 11,44 mm H<sub>2</sub>O) frente a las mascarillas que no recibieron tratamiento, que tenían un valor

de 9,89 mm H<sub>2</sub>O (rango: 7,52 a 11,70). La diferencia de medias fue de 0,33% (IC95%: -0,92 a 1,58) indicando que no había diferencias significativas en la resistencia al flujo de aire observado entre las mascarillas que fueron tratadas con la IGUV y las que no.

Respecto las características físicas de las mascarillas tras el tratamiento con la IGUV, los estudios incluidos no encontraron cambios significativos en la apariencia física, textura u olor de ninguna de las mascarillas (37). Dos estudios evaluaron el ajuste de las mascarillas tras el tratamiento con la IGUV. Ninguno de los dos estudios encontró diferencias significativas entre el grupo tratado con la IGUV respecto al grupo control.

O'Hearn et al. (37) concluyen que la funcionalidad de los modelos de mascarillas N95, basada en la penetración del aerosol y la filtración del flujo de aire, se mantiene siguiendo un único ciclo de IGUV. La descontaminación con luz UV en el entorno del laboratorio sugiere que este puede ser un método exitoso para eliminar los patógenos infecciosos de las mascarillas filtrantes. Los estudios futuros deberían utilizar una dosis acumulativa de UV-C de 40.000 J/m<sup>2</sup> y centrarse en la validación de la eficacia de la descontaminación con la IGUV en el entorno del mundo real, y en la determinación del impacto de la IGUV en el ajuste de la máscara, así como el número máximo de ciclos de IGUV que pueden aplicarse con seguridad a una mascarilla N95.

La RS de Seresirikachorn et al. (38) analizaba la evidencia de varios métodos de descontaminación de mascarillas quirúrgicas y mascarillas filtrantes N95 y P100. Los autores incluyeron 15 estudios que analizaban un total de 14 métodos de desinfección que desglosados fueron los siguientes: 9 de los estudios analizaban la radiación ultravioleta, 5 estudios analizaban el calor húmedo, 4 estudios analizaban el vapor generado por microondas, 4 estudios el vapor de peróxido de hidrógeno, 3 estudios sobre descontaminación con lejía, 3 sobre tratamiento de vapor, 3 sobre calor seco, 3 sobre alcohol isopropílico o etanol, 3 sobre óxido de etileno, 2 estudios sobre plasma de gas de peróxido de hidrógeno, 2 estudios sobre peróxido de hidrógeno líquido, 1 estudio sobre irradiación con microondas, 1 estudio sobre la descontaminación con bolsas de vapor por microondas y 1 estudio sobre desinfección con agua y jabón.

Seresirikachorn et al. (38) incluyeron 9 estudios sobre la IGUV. Todos ellos utilizaban UV-C con una longitud de onda de 254 nm. Los estudios incluidos utilizaron varios equipos y técnicas: 4 estudios utilizaron una cabina de flujo laminar con luz UV-C, 3 estudios utilizaron una lámpara de UV y 2 estudios una cámara con una bombilla de luz UV-C. También se observó variabilidad en la intensidad de la UV-C utilizada, así como en la dosis, distancia a la fuente, tipo de mascarilla, tiempo de exposición y

número de ciclos. El tiempo de exposición varió entre 1 y 45 minutos. El número de ciclos varió de 1 a 3 ciclos.

Los resultados indicaron que la UV-C fue efectiva para la inactivación del virus de la gripe, incluyendo H5N1 y H1N1. La eficacia de filtración de la mascarilla tras la descontaminación se mantuvo sin cambios en 4 estudios. La estructura física se mantuvo sin cambios en 3 estudios, pero la fuerza física de la mascarilla se perdió parcialmente tras altas dosis de UV-C (de 120 J/cm<sup>2</sup> y 950 J/cm<sup>2</sup>) y la fuerza de la correa se perdió a 590 J/cm<sup>2</sup>.

Seresirikachorn et al. (38) concluyen que la descontaminación de las mascarillas quirúrgicas y de las mascarillas filtrantes N95 es necesaria para prepararlas para su reutilización en la crisis de escasez durante la pandemia de COVID-19. El método de descontaminación seleccionado debe basarse en la eficacia de la desinfección de virus y bacterias, la eficiencia de la filtración y la estructura física de las mascarillas quirúrgicas y mascarillas filtrantes tras el proceso de descontaminación. Tomando como base el virus de la gripe y la inactivación bacteriana, los autores recomiendan como método desinfectante la IGUV, el calor húmedo, el vapor generado por microondas y el vapor de peróxido de hidrógeno.

La RS de Yang et al. (39) analiza el efecto de la irradiación germicida ultravioleta para la desinfección de mascarillas filtrantes y facilitar su reutilización durante la pandemia de la COVID-19. Los autores incluyeron 7 estudios que investigaban la descontaminación de mascarillas filtrantes con UV-C. Estos estudios, a excepción de uno, están incluidos también en la revisión de Seresirikachorn et al.

Yang et al. (39) concluyen que una dosis apropiada de IGUV podría proporcionar suficiente energía para descontaminar eficazmente el virus y mantener la integridad de la mascarilla para su reutilización. Sin embargo, los autores añaden que no hay pruebas suficientes para evaluar el efecto de la IGUV en la descontaminación de las mascarillas del SARS-CoV-2.

## **Estudios primarios sobre eficacia de la luz ultravioleta para la desinfección de virus**

Pavia et al. realizaron un estudio cuyo objetivo era examinar el efecto de la UV-C sobre la incidencia de las infecciones virales de las vías respiratorias altas (IVRA) en una población pediátrica en el Hospital Infantil de St. Mary, un centro con 97 camas ubicado en Bayside, Nueva York (14). Los pacientes de este centro normalmente tienen necesidades u otras patologías complejas, como enfermedades crónicas y lesiones que requieren cuidados a largo plazo.

Este estudio fue realizado entre febrero de 2016 y enero de 2017. Se realizó en la unidad de niños preescolares por tener las tasas más altas de infecciones en las vías respiratorias altas. Se desplegó un dispositivo de UV-C en cinco de las 12 habitaciones del área, que albergan un total de 12 pacientes y dos áreas comunes. Las otras 7 habitaciones fueron limpiadas usando el protocolo estándar de desinfección manual. Las habitaciones eran tratadas con un horario rotativo para asegurar la cobertura uniforme de las habitaciones, de forma que cada habitación recibía 2 o 3 tratamientos por semana. Se siguieron las recomendaciones del fabricante respecto al tiempo de ciclo y el número de ciclos (ej., una habitación con una cama recibía dos ciclos de cinco minutos con el dispositivo colocado a cada lado de la cama y un ciclo adicional de cinco minutos en el baño).

Los resultados de este estudio mostraron que durante los doce meses de utilización del dispositivo de UV-C la tasa de incidencia fue de 0,56 (IC 95%= 0,37-0,84) y se produjo una reducción no ajustada del 44% en la incidencia general de infecciones respiratorias, pasando de una tasa de ocurrencia del 0,00775 durante el periodo de 12 meses sin el dispositivo de UV-C a una tasa de 0,00437 (Tabla 2)(14). Los días de estancia por mes se mantuvieron aproximadamente constantes (promedio, 722) durante todo el período de estudio.

Pavia et al. (14) utilizaron una regresión segmentada para analizar las 2 partes de la serie temporal interrumpida, cuyos resultados indicaron una reducción del 44% de la pendiente de la curva IVRA/10.000 paciente-días. El valor sin el uso de UV-C fue de 82,0 IVRA/10.000 paciente-días (IC 95%= 72,5-91,5) comparado con el valor de 50,3 ISA/10.000 paciente-días (IC 95%= 41,0-59,6) con el uso del dispositivo de UV-C.

**Tabla 2. Incidencia de infecciones de vías respiratorias altas durante los doce meses con desinfección con dispositivo de UV-C y los doce meses sin desinfección con dispositivo de UV-C.**

Variable	Nº de casos	Pacientes-día	Ratio de Incidencia	Diferencia (Ratio no UVC-Ratio con UVC)
No UV-C	73	9418	0,00775	0,00338 (IC95%=0,00116-0,00561) P=0,003
Con UV-C	41	9378	0,00437	

Los autores sugieren que la radiación con UV-C tuvo un mayor efecto cuando se usaba durante más tiempo (14). Esta reducción viral se basa en la reducción de patógenos obtenido por la radiación de UV-C en el mes anterior (14). Por otro lado, estos resultados pueden verse afectados por el tiempo que necesitan los profesionales para dominar el protocolo de uso del dispositivo (14).

Se han incluido 7 estudios que analizan la eficacia de la radiación UV-C para desinfección de virus a escala de laboratorio. Dos de estos de estos estudios analizan la eficacia de dispositivos de UV-C para la desinfección de mascarillas comerciales N-95 (49, 50).

Cadnum et al. (50) realizó un estudio en 2020 para estudiar la eficacia en la desinfección de mascarillas comerciales de tres métodos, que incluían radiación con UV-C, una cabina de desinfección de alto nivel que genera ácido peracético y peróxido de hidrógeno en aerosol y la desinfección con calor seco a 70°C durante 30 minutos. Se evaluó eficacia de la UV-C en la descontaminación de 3 respiradores comerciales N95 inoculados con *Staphylococcus aureus* resistente a la meticilina (SARM) y los bacteriófagos MS2 y Phi6; este último es un virus de ARN envolvente utilizado como sustituto de los coronavirus.

Realizaron la prueba estándar cuantitativo de disco soporte estándar de la ASTM, cuyos resultados mostraron que el bacteriófago Phi 6 utilizado como análogo de coronavirus era menos susceptible a la radiación UV que las bacterias u hongos estudiados (Tabla 3).

**Tabla 3. Comparación de las reducciones UFC o UFP (log<sub>10</sub>) logradas en los portadores de discos de acero por 90 o 180 segundos de exposición a la UV-C de un dispositivo de descontaminación de habitaciones.**

Tiempo de exposición	Organismo	Reducción Log <sub>10</sub> UFC/UFP
90	<i>Acinetobacter baumannii</i>	4,32
90	Vancomycin-resistant <i>Enterococcus faecium</i>	3,75
90	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	3,69
90	<i>Staphylococcus Aureus</i> resistente a meticilina	3,28
90	NDM1 <i>Escherichia coli</i>	3,27
90	PHI X174 (ssADN)	2,49
90	PHI 6 (dsARN)	0,91
90	MS2 (ssADN)	0,84
180	<i>Candida auris</i>	1,13
180	<i>Candida albicans</i>	1,23
180	<i>Clostridioides difficile</i> spores	1,05
180	<i>Bacillus subtilis</i> spores	0,72

Los resultados también indicaron que la reducción de microorganismos en la superficie interior era menor que la reducción en la superficie exterior de la mascarilla.

Los autores probaron un dispositivo con una lámpara de xenón y un dispositivo con una lámpara de mercurio. Los resultados mostraron que el dispositivo con una lámpara de xenón pulsado fue significativamente menos efectivo que el dispositivo de mercurio de baja presión. Por otro lado, se observaron reducciones en las superficies interiores y la superficie exterior que eran comparables.

El otro estudio que analizó la eficacia de la radiación con UV-C en la desinfección de mascarillas fue el estudio de Mills et al. (49). El objetivo de este estudio fue evaluar la eficiencia de descontaminación de la IGUV de una mascarilla respiratoria N95 inoculada con una cepa de gripe pandémica como agente contaminante para simular mejor los fenómenos de contaminación del mundo real. Quince modelos de mascarilla N95 fueron contaminados con gripe H1N1 viable y mucina (como análogo de la saliva) o aceite de piel artificial, y posteriormente fueron tratados con radiación UV y evaluados para determinar si quedaba un virus viable.

Los resultados recogidos en la tabla 3, indican que tanto en las mascarillas contaminadas con mucinas como las contaminadas con aceite, mostraron reducciones significativas de la viabilidad del virus de la gripe ( $\geq 3$  log). Por otro lado, tanto las piezas faciales como las correas de las mascarillas tratadas con radiación UV mostraron títulos de virus recuperados inferiores a los valores de virus de las muestras control. La reducción media osciló entre 1,42 y 4,84 log DICT50 (Dosis infectiva del 50% en cultivo de tejido) para las piezas faciales contaminadas con mucina y entre 0,00 y 4,31 para las correas contaminadas con mucina (49). La reducción media log osciló entre 1,25 a 4,64 log DICT50 para las piezas faciales y entre 0.08-4.40 para las correas (49).

Los resultados indican que los valores de reducción logarítmica observados para todas las correas fueron estadísticamente significativamente más bajos que las piezas faciales de las mascarillas (49).

**Tabla 4. Concentración media de virus de la gripe en mascarilla tras desinfección con UV-C**

	<b>Agente contaminante</b>	
	Mucina	Aceite sintético
<b>Parte mascarilla</b>	Log DICT50	Log DICT50
Pieza facial	4,29 ± 0,52	4.10 ± 0.56
Correa	3,57 ± 0,7	3.90 ± 0.65
DICT50: dosis infectiva del 50% en cultivo de tejidos		

Los autores concluyen que la desinfección y reutilización de respiradores faciales filtrantes mediante IGUV puede ser efectiva. La implementación de un método de irradiación germicida de UV requerirá una cuidadosa consideración del modelo de respirador facial filtrante, el tipo de material y el diseño (49).

Se han incluido cinco estudios que analizaban la eficacia de la radiación UV para la desinfección de virus a escala de laboratorio, entre los que se encuentran los coronavirus SARS-CoV o MERS-CoV (1, 17, 18, 21, 51).

El objetivo del estudio de Ansaldi et al. (21) fue evaluar la eficacia viricida de desinfectantes químicos, utilizados para limpiar las superficies, y la radiación UV contra el SARS-CoV, en comparación con la resistencia de otros virus envueltos presentes en el aire, como influenza gripe y el virus respiratorio sincitial (VRS).

Los resultados de Ansaldi et al. (21), reflejados en la Tabla 5, indican que el hipoclorito de sodio 0,1%, 2-benzil-clorofenol 2% y la radiación UV tienen un efecto viricida más fuerte ya que inhibieron completamente la replicación viral y el daño del genoma viral después de < 2 minutos de exposición (21).

**Tabla 5. Eficacia viricida de desinfectantes y radiación ultravioleta sobre Influenza, VRS y SARS-CoV**

Ultimo tiempo de contacto con el desinfectante con resultado positivo						
Tipo de desinfectante	Influenza		VRS		SARS-CoV	
	Cultivo	PCR	Cultivo	PCR	Cultivo	PCR
<b>Ácido Peracético 0.035%</b>	*	30 min	*	30 min	*	30 min
<b>Etanol 70%</b>	2 min	30 min	*	30 min	*	30 min
<b>Hipoclorito sódico 0,01%</b>	30 min	30 min	30 min	30 min	30 min	30 min
<b>Hipoclorito sódico 0,05%</b>	30 min	30 min	1 min	2 min	1 min	30 min
<b>Hipoclorito sódico 0,1%</b>	*	30 min	1 min	1 min	*	30 min
<b>Digluconato de clorhexidina 1%</b>	30 min	30 min	1 min	30 min	*	30 min
<b>2 benzil clorofenol 2%</b>	*			2 min	*	2 min
<b>Cloruro de benzalconio</b>	30 min	30 min	1 min	30 min	5 min	30 min
<b>Radiación UV</b>	1 min	1 min	1 min	1 min	2 min	2 min

\* negativo tras 30 minutos de contacto.VRS: virus respiratorio sincitial

Los autores concluyen que, tanto el SARS-CoV como el RSV parecen ser tan sensibles a los diferentes desinfectantes probados como a la radiación

ultravioleta, mientras que el virus de la gripe parece ser más resistente, en particular a la acción del digluconato de clorhexidina y el cloruro de benzalconio.

Teniendo en cuenta el posible papel infeccioso del ARN del SARS-CoV, el hipoclorito de sodio al 0,1% parece ser el desinfectante más eficaz para las superficies y manos potencialmente contaminadas con virus respiratorios y el SARS-CoV.

El estudio de Bedell et al. (18) analizó la eficacia de la desinfección de MERS-CoV con un sistema de desinfección automatizada con UV-C con tres emisores de UV-C. Utilizaron el modelo del virus de la hepatitis murina MHV-A59, análogo de ratón del MERS-CoV para estudiar los efectos del UV-C contra el MERS-CoV. También se probó la sensibilidad de MERS-CoV a la radiación UV-C en un laboratorio BSL3.

Los resultados (tabla 6) indican que la radiación UV-C emitida por el sistema de desinfección Surfacide fue capaz de reducir los títulos virales del VHM-A59 en un promedio de 2,71 log<sub>10</sub> en 5 minutos y 6,11 log<sub>10</sub> en 10 minutos de exposición, lo que dio como resultado niveles indetectables del virus VHM-A59. Para el MERS-CoV, un tiempo de exposición a la UV-C de sólo 5 minutos dio lugar a niveles de virus no detectables que permanecieron indetectables después de 30 minutos de exposición total para una reducción de 5,9 log<sub>10</sub>.

**Tabla 6. Reducción vírica tras la exposición a UV-C**

Tiempo de exposición	Reducción Log <sub>10</sub>	
	VHM-A59	MERS-CoV
5 min	2,71	5,9
10 min	6,11	5,9

Los autores concluyen que el uso del sistema de desinfección UV-C de sala entera Surfacide durante los brotes de MERS puede prevenir la propagación nosocomial del virus y proteger al personal en el proceso (18).

Walker et al. (17) analizan el efecto de la nebulización y el muestreo en aerosoles virales respiratorios, así como la susceptibilidad a la radiación UV de tres aerosoles virales (un adenovirus, virus de la hepatitis murina (VHM) como análogo del coronavirus del SARS y el bacteriófago MS2), así como el efecto de la humedad relativa (HR) en la susceptibilidad a la radiación con UV. Por último, los autores analizan las tasas de inactivación por radiación de UV para los aerosoles virales frente a los virus

suspendidos en líquido para determinar la utilidad de la extrapolación de estudios anteriores sobre la susceptibilidad a la radiación UV en bioaerosoles.

Los autores utilizaron una cámara experimental diseñada y construida para medir la susceptibilidad de los aerosoles virales expuestos a varias dosis de radiación UV y a niveles predeterminados de HR.

Los resultados de susceptibilidad vírica a la radiación UV-C con una humedad relativa del 50% (Tabla 7), indicaron que el bacteriófago MS2 fue el más resistente a la radiación de UV-C de 254nm. Aproximadamente el 31% de los aerosoles de MS2 sobrevivieron después de la exposición de UV-C a 2608  $\mu\text{W s/cm}^2$ . El adenovirus mostró una tasa de inactivación similar a la de MS2, aproximadamente el 33% del adenovirus sobrevivió después de la exposición a 2608  $\mu\text{W s/cm}^2$ . Sin embargo, el coronavirus fue mucho más sensible a la UV-C de 254 nm, y sólo el 12% del virus aerosolizado sobrevivió a la exposición a 599  $\mu\text{W s/cm}^2$  UV-C.

Los resultados de Walker et al. (17) indicaron una mayor susceptibilidad a la radiación UV-C de las muestras de aerosoles virales en comparación con las muestras en suspensión líquida, con un ratio de Z entre el aerosol/líquido de entre 6,9 y 16,3 para MS2, 21,7 para el adenovirus y 85,7 para el coronavirus. Indicándose que la susceptibilidad a la radiación UV-C es mayor en los aerosoles virales que en las suspensiones líquidas virales.

**Tabla 7. Susceptibilidad a la radiación UV (valor Z) a una humedad relativa del 50%**

	Dosis UV ( $\mu\text{W s/cm}^2$ )	% supervivencia <sup>a</sup>	Valor Z (x 10 <sup>4</sup> ) <sup>b</sup>
<b>MS2</b>	2608	31.1 $\pm$ 2.9	3,8 $\pm$ 0,3
<b>Adenovirus respiratorio Serotipo 2</b>	2608	32,9 $\pm$ 2,3	3,9 $\pm$ 0,3
<b>VHM</b>	599	12,2 $\pm$ 7,2	37,7 $\pm$ 1,9
<sup>a</sup> % de supervivencia=100x (número de placas en presencia de exposición a UV-C)/ (número de placas en ausencia de exposición UV-C). <sup>b</sup> valor Z (x10 <sup>4</sup> ) fue calculado como 10 <sup>4</sup> x log (% de supervivencia)/ dosis UV ( $\mu\text{W s/cm}^2$ )			

Los autores concluyen que la desinfección del aire mediante la utilización de UV-C de 254 nm puede ser una herramienta eficaz para inactivar los aerosoles virales. De los tres virus examinados, el adenovirus fue el más resistente a la radiación UV-C de 254 nm y debe ser expuesto a altas dosis de UV para su completa inactivación. Sin embargo, los autores indican que es necesario realizar más estudios de laboratorio y epidemiológicos

para dilucidar la eficacia de la desinfección del aire por UV en la reducción de las enfermedades virales respiratorias.

El estudio de Stibich et al. (51) analiza el impacto de los dispositivos de luz ultravioleta con lámpara de Xenón (PX-UV) en los principales patógenos hospitalarios.

Los resultados muestran reducciones logarítmicas de los patógenos tras la desinfección con el dispositivo PX-UV (Tabla 8). En el caso de las bacterias en forma vegetativa la reducción varió entre 8,74-9,33 UFCs/ml tras cinco minutos de exposición a un metro de PX-UV. En el caso de los virus, se observó una reducción menor tras la exposición al dispositivo PX-UV, con reducciones que variaron entre 0,86–1,54 UFPs/ml cuando el inóculo era líquido. Cuando el inóculo era el virus seco la reducción fue  $\geq 5$ . En el caso del virus del Ebola no se observó crecimiento, en un umbral de detección de 4 UFP/ml, tras un minuto de exposición a PX-UV:

**Tabla 8. Reducción logarítmica de los principales patógenos hospitalarios tras la desinfección con un dispositivo PX-UV.**

Organismo	Tiempo del ciclo (min)	Distancia (metros)	Recuento patógenos antes de desinfección	Recuento patógenos después de desinfección	Reducción log
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	5	1	1.88E+10	3.42E+01	8.74
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	5	1	9.12E+10	4.30E+01	9.33
<i>Acinetobacter baumannii</i>	5	1	6.07E+10	4.67E+01	9.11
<i>Escherichia coli</i>	5	1	3.32E+10	2.68E+01	9.09
<i>Staphylococcus aureus</i>	5	1	4.52E+10	3,47E+01	9.11
<i>Geobacillus stearothermophilus</i>	5	1	1.69E+06	2.57E+02	3.82
<i>Bacillus atrophaeus</i>	5	1	4.89E+05	2.51E+02	3.29
<i>Aspergillus niger</i>	5	1	1.07E+03	5.02E+02	0.33
<i>Aspergillus niger</i>	10	1	1.07E+03	1.37E+02	0.89
<i>Aspergillus niger</i>	15	1	1.07E+03	6.03E+01	1.25
<i>Aspergillus niger</i>	30	1	1.07E+03	4.10E+01	1.61
MERS-CoV (líquido)	5	1	4.13E+04	2.17E+04	1.54
Vaccinia virus (líquido)	5	1	4.98E+06	1.63E+05	1.38
IBDV (líquido)	5	1	2.41E+07	3.33E+06	0.86
VSV (seco)	5	1	2.60E+05	0.00E+00	Todo
<i>Bacillus anthracis</i>	15	1	4.5E+03	0.00E+00	Todo
Ebola virus	1	1	1.85E+07	0.00E+00	Todo

IBDV: infectious bursal disease virus. MERS-CoV: Coronavirus del Síndrome respiratorio del Oriente Medio. Min: minutos..Log: logarítmica. VSV: virus estomatitis vesicular.

Los autores indican que esta menor reducción en la carga vírica respecto a las bacterias, puede explicarse por la naturaleza líquida de los preparados de virus, que hizo necesario colocarlos horizontalmente en la

superficie para una exposición más indirecta, así como por el posible blindaje contra los rayos ultravioleta causado por la propia suspensión viral.

Para hacer frente a estos factores de confusión, los autores utilizaron el virus VSV como modelo de virus que podía secarse en una superficie durante un período prolongado y seguir conservando su infecciosidad. Esto permitió que las muestras se colocaran a 45 grados para una exposición más directa. En este caso se observó la eliminación completa de cualquier virus detectable. Los autores señalan que los contaminantes virales estarían en la forma seca en la mayoría de las situaciones ambientales en las que se usaría el PX-UV.

Los autores concluyen que los microorganismos elegidos para estas pruebas representan importantes amenazas a la salud pública. La magnitud de la reducción logarítmica observada del uso de PX-UV contra cada uno de los estos microorganismos indicaba que la desinfección con PX-UV jugó un papel en la prevención de la transmisión de estos microorganismos, y por lo tanto en reducir la morbilidad y la mortalidad asociadas. Además, disminuyendo la probabilidad de transmisión de estos microorganismos a través de un ambiente contaminado, los PX-UV pueden contribuir a los esfuerzos por abordar la resistencia a los antimicrobianos mediante la reducción del número de infecciones y, por lo tanto, ampliar la eficacia de antibióticos reduciendo la demanda de los mismos.

Tseng et al. (1) publicaron en 2007 un estudio cuyo objetivo era determinar la efectividad de la IGUV para la inactivación de virus en superficies. Los autores estudio evaluaron los efectos de la dosis de UV, diferentes tipos de virus de ácido nucleico (cuatro bacteriófagos diferentes con ssADN, ssARN, dsADN y dsARN) y humedad relativa (55% y 85%) en la fracción de supervivencia del virus después de la exposición a la IGUV.

Los resultados mostrados en la Tabla 9 indican que los virus dsARN y dsADN son más resistentes a la IGUV que los virus ssARN y ssADN (las dosis de UV para la reducción de los virus dsARN y dsADN en superficies fueron aproximadamente 3 veces más altas que las del ssARN y el ssADN,  $p < 0,05$ ).

**Tabla 9. Dosis de UV necesarias para la reducción viral del 90% y 99% de cuatro tipos de virus**

	<b>Dosis de UV (1 mJ/cm<sup>2</sup>)</b>			
	dsARN (phi 6)	ssARN (MS2)	dsADN (T7)	ssADN (Phi X714)
<b>Reducción viral del 90%</b>	7,70 a 8,13)	(1,32 a 3,20)	3,80 a 5,36	2,50 <sup>a</sup> 4,47)
<b>Reducción viral del 99%</b>	7,75 a 10,57	2,51 a 6,50	15,54 a 16,20	5,04 a 8,34

Se puede observar que los virus ssARN y ssADN son más susceptibles que los virus tipo dsARN y dsARN a la radiación UV: Por otro lado, los autores analizaron la influencia de la humedad relativa sobre la susceptibilidad de los virus a la radiación UV, cuyos resultados indicaron que, a una humedad relativa del 85%, el valor de susceptibilidad microbiana (valor K) para los cuatro tipos de virus analizada fue de 2,27 a 6,64 cm<sup>2</sup>/mJ y para una humedad relativa del 55% el valor K fue de 2,3 a 0,83 cm<sup>2</sup>/mJ, lo que indica que es necesario una mayor dosis de radiación UV para la inactivación de virus a una humedad relativa alta.

Los autores concluyen la IGUV es un método efectivo para la inactivación de los virus en las superficies. Sin embargo, la efectividad de la IGUV para la inactivación de virus en superficies depende fuertemente del tipo de ácido nucleico del virus. Los virus con dsARN o dsADN podían ser menos susceptibles a la inactivación por IGUV. Para una inactivación del virus en superficies del 90%, la dosis de UV para los virus dsARN y dsADN era aproximadamente de 2 a 3 veces mayor que la de los virus ssARN y ssADN, respectivamente. El factor de susceptibilidad de los virus fue mayor al 55% de humedad relativa que al 85% de humedad relativa, posiblemente porque cuando la humedad relativa aumenta, la absorción de agua en la superficie del virus podría proporcionar protección contra el daño del ADN o del ARN inducido por la UV.

La actualización de la búsqueda ha permitido identificar 13 estudios primarios (16, 43-46, 48, 52-58) y 1 estudio preprint publicado sin haber pasado la revisión por pares (59). De los 13 estudios primarios, 8 analizaban el efecto de la luz UV sobre el SARS-CoV-2, en concreto, 2 estudios analizaban la inactivación del SARS-CoV-2 (44) o un análogo del SARS-CoV-2 (45) y 6 estudios analizaban la efectividad de la UV para la descontaminación de mascarillas EPI (43, 46, 48, 54, 55, 58). También se han incluido cinco estudios que analizaba la efectividad de la luz UV en la inactivación de otros coronavirus (16), influenza A (56, 57) o bacteriófagos (52, 53). Todos los estudios han sido pruebas de laboratorio.

Los estudios publicados por Heilingloh et al. (44) e Inagasaki et al. (45) analizaban la susceptibilidad del SARS-CoV-2 a la luz UV.

Los resultados de Heilingloh et al. (44) indicaron una alta susceptibilidad del SARS-CoV-2 a la irradiación UV-C. Se alcanzó la inactivación completa del SARS-CoV-2, con un valor de DITC50/mL de  $5 \log 10^6$  tras 9 minutos de exposición combinada de UV-A y UV-C. Sin embargo, los resultados indicaron que mientras la UV-C a 254 nm era capaz de inactivar completamente el virus tras 9 minutos de exposición (dosis de UV=1048 mJ/cm<sup>2</sup>), la luz UV-A a 365 nm no conseguía la inactivación del virus logrando sólo la reducción de 1 logaritmo de la carga vírica tras 9 minutos de exposición.

Los resultados de Inagasaki et al. (45) también indicaban una alta susceptibilidad del SARS-CoV-2 a la UV-profunda a 280 nm. Los autores irradiaron placas de Petri con alícuotas virales de 150 µl que eran irradiadas con 3,75 mW/cm<sup>2</sup> a una distancia de 20 mm durante 1, 10, 20, 30 o 60 segundos. La radiación UV-profunda lograba una rápida inactivación del SARS-CoV-2, alcanzando una tasa de reducción del 87,4% tras 1 segundo de exposición y del 99,9% tras 10 segundos de exposición (reducción mayor a  $3,1 \log_{10}$ ).

Ambos estudios concluyen que la UV-C (44) o la UV-profunda (45) puede inactivar del SARS-CoV-2, y pueden ser un método fiable para la desinfección en centros sanitarios y para la preparación del material del SARS-CoV-2 con fines de investigación (44, 45). Sin embargo, Inagasaki et al. (45), consideran que era necesario realizar más estudios para validar la relación entre la distancia a la fuente UV y la inactivación del virus.

En 6 de los estudios incluidos se analizó la efectividad de la luz UV para la descontaminación de mascarillas EPI de SARS-CoV-2. 4 de ellos utilizaban inóculos de SARS-CoV-2 (43, 46, 48, 58), mientras que 2 estudios usaban otros coronavirus como análogos del SARS-CoV-2, el coronavirus HCoV-OC43 (54) y el coronavirus respiratorio porcino (55).

En el estudio publicado por Fisher et al. en 2020 se analizó la eficacia de la descontaminación de mascarillas filtrantes N95 de cuatro métodos: luz UV-C (260-258 nm), calor seco 70°C, etanol al 70%, y peróxido de hidrógeno vaporizado (PHV).

Las pruebas de descontaminación se realizaron con discos de mascarillas filtrante y con discos de acero inoxidable. Los resultados indicaron que el PHV y el etanol lograban una rápida inactivación tanto en los discos de mascarilla como en los discos de acero inoxidable. En el caso de la luz UV, mientras que se observaba una rápida inactivación en las muestras

de los discos de acero inoxidable, en el caso de las muestras de las mascarillas EPI la inactivación era más lenta, y no se llegaba a alcanzar la inactivación completa. En el caso del calor seco, se lograba la inactivación completa del SARS-CoV-2, pero se producía más rápidamente en las muestras de las mascarillas que en las muestras de acero inoxidable.

Los resultados de Fisher et al. (43) indicaban que el tratamiento con PHV mostraba la mejor combinación de inactivación rápida del virus del SARS-CoV-2 y la preservación de la integridad de las mascarillas N95 en las condiciones experimentales. La luz ultravioleta eliminó el virus más lentamente, pero preservaba la función del respirador casi igual de bien que el PHV. El calor seco a 70°C eliminó el virus con una velocidad similar a la de la luz UV y es probable que mantenga un nivel de ajuste aceptable durante 1 o 2 ciclos de descontaminación, pero no debe usarse durante más de 3 ciclos. Los autores no recomiendan la descontaminación con etanol ya que los resultados indicaban que reducía la integridad de las mascarillas N95.

El objetivo del estudio de Ozog et al. (46) era determinar el efecto de la UV-C en la descontaminación de SARS-CoV-2 inoculado sobre mascarillas filtrantes N95.

Los autores inocularon con SARS-CoV-2 cinco modelos de mascarilla N95, a los que se trató con luz UV-C con una dosis de 1,5 J/cm<sup>2</sup> por cada lado. Los resultados indicaron que la efectividad de la descontaminación con UV-C dependía del modelo y material de la mascarilla. La UV-C resultó ser eficaz para la descontaminación de la parte facial de las mascarillas 3M 1860 and Moldex 1511 y de las correas de los modelos 3M 8210 y Moldex 1511 (46).

El estudio de Simmons et al. (58) tiene como objetivo determinar la efectividad de un sistema de desinfección con UV de xenón pulsado (UV-XP) para reducir la carga de SARS-CoV-2 en superficies y mascarillas N95. Los autores probaron la desinfección de muestras de superficies duras y mascarillas N95 inoculadas con 0,020 ml de virus tras la exposición a la UV-XP tras 1,2 y 5 minutos.

Tras un minuto de exposición, se observó una reducción vírica en las superficies duras del 99,97% (3,53 log<sub>10</sub>). A los 2 y 5 minutos, la reducción fue mayor al 99,99%, con una reducción logarítmica >4,54 y >4,12 respectivamente.

En el caso de las mascarillas se observó una reducción del 99,99% tras cinco minutos de exposición (>4,79 log<sub>10</sub>).

Simmons et al. (58) indican que los resultados no pueden generalizarse a otras fuentes de luz UV-XP porque la UV-C de un sistema UV-PX es diferente a la producida por otros sistemas de desinfección UV que dependen de lámparas de vapor de mercurio de baja presión o de fuentes de diodos emisores de luz .

En el estudio de Smith et al. (48) se analizó el efecto del PHV, la luz UV y el etanol sobre la integridad de la mascarilla N95 y la capacidad de eliminar el potencial infeccioso del SARS-CoV-2.

Los resultados de Smith et al. (48) sobre la integridad de las mascarillas tras los tratamientos de descontaminación indicaron que sólo la descontaminación con PHV no alteraba la integridad de las mascarillas mientras que tanto el etanol como la luz UV producían la degradación funcional de las mascarillas N95 en diferentes grados.

Los resultados de las pruebas de infectividad del SARS-CoV-2 tras la descontaminación mostraron que sólo el etanol eliminaba totalmente el ARN detectable por PCR del SARS-CoV-2 mientras que en las muestras de mascarillas tratadas con UV y VPH se detectaba RNA infectivo tras el tratamiento (48).

Los cuatro estudios que analizaban la efectividad de la radiación UV-C en la descontaminación de mascarillas inoculadas con SARS-CoV-2 concluyen que este tratamiento es eficaz (43, 46, 48, 58). Sin embargo, hay que tener en cuenta el modelo, el tipo de material y diseño de las mascarilla (46) así como el grado de contaminación por el virus (43). Por otro lado, se sugiere que las correas de las mascarillas pueden requerir una desinfección adicional para maximizar la seguridad (46).

Se han incluido dos estudios que analizaban la eficacia de la luz UV en la desactivación de dos análogos del SARS-CoV-2 (54, 55).

El estudio de Gerchman et al. (54) analizó la eficacia de varias longitudes de onda de luz UV en la inactivación del coronavirus HCoV-OC43 (utilizado como sustituto del SARS-CoV-2).

Los resultados indicaron que las longitudes de onda de 267 y 279 nm fueron muy eficaces para inactivar el HCoV-OC43, alcanzándose una reducción de 3 log<sub>10</sub> con una irradiación de 6-7 mJ/cm<sup>2</sup>, mientras que las longitudes de onda de 286 y 297 nm requirieron dosis más altas para la inactivación de 3 log (13 mJ/cm<sup>2</sup> y 32 mJ/cm<sup>2</sup>, respectivamente). Sin embargo, incluso estas longitudes de onda dieron lugar a una inactivación eficaz del HCoV-OC43.

Gerchman et al. (54) concluyen que los coronavirus HCoV-OC43 y SARS-CoV-2 son muy similares, y sugieren que el HCoV-OC43 puede utilizarse como sustituto del SARS-CoV-2.

Ludwig-Begall et al. (55) utilizaron una cepa del coronavirus respiratorio porcino, como sustituto del SARS-CoV-2, para analizar la eficacia de la luz UV, el PHV y el calor seco en la desinfección de mascarillas quirúrgicas y mascarillas EPI.

En el caso de las mascarillas quirúrgicas, los resultados indicaron que tras una exposición de 2 minutos a la luz UV, a el PHV y a el tratamiento con calor seco se obtenía la inactivación completa del virus con una reducción de más más de cinco órdenes de magnitud para los tres tratamientos en las mascarillas (tabla 10). Los títulos de los virus recuperados de las correas de las mascarillas quirúrgicas tratadas se redujeron en tres órdenes de magnitud después de irradiación UV (tabla 10), en dos órdenes de magnitud para las correas tratadas con calor y en un orden de magnitud para las correas tratadas con peróxido de hidrógeno (tabla 10).

**Tabla 10. Datos reducción de SARS-CoV-2 con UV, PHV y calor seco obtenidos por Ludwig-Begall et al. (55).**

	UV	PHV	Calor seco
<b>Mascarilla quirúrgica (parte facial)</b>	<b>2,83 10<sup>5</sup> (±2,0)</b>	<b>1,69 10<sup>5</sup> (±1,81)</b>	<b>4,25 10<sup>5</sup> (± 2,88)</b>
<b>Mascarilla quirúrgica (correas)</b>	<b>5,88 10<sup>3</sup> (±2,80)</b>	<b>5,78 10 (±7,10)</b>	<b>3,85 10<sup>2</sup> (±4,56)</b>
<b>Mascarilla EPI (parte facial)</b>	<b>Inactivación &lt; a tres órdenes de magnitud (datos no suministrados)</b>	<b>1,80 10<sup>5</sup> (±1,58)</b>	<b>2,16 10<sup>4</sup> (±3,28)</b>
<b>Mascarilla EPI (correas)</b>	<b>No medido</b>	<b>1.69 10<sup>3</sup> (±0,43)</b>	<b>No medido</b>
<b>EPI: mascarillas autofiltrantes frente a partículas y aerosoles líquidos</b>			
<b>PHV: Peróxido de hidrógeno vaporizado</b>			

Respecto a las mascarillas filtrantes, se observaron resultados similares tras la descontaminación con los tres métodos estudiados. Con una reducción de más más de cinco órdenes de magnitud con el peróxido de hidrógeno y de cuatro órdenes de magnitud para el calor seco (tabla 10).

Sin embargo, se observó que una exposición de dos minutos a la luz UV no era suficiente para lograr la inactivación completa del virus. Tras un tiempo de exposición de cuatro minutos a la luz UV se logró reducir los títulos virales en más de cuatro órdenes de magnitud (tabla 10) hasta por debajo del límite de detección. El impacto de la descontaminación no se pudo medir para las correas las mascarillas EPI tratadas con calor seco o luz UV.

Gerchman et al. (54) y Ludwig-Begall et al. (55) concluyen que la irradiación con luz UV es eficaz en la inactivación de un coronavirus infeccioso. Pero sugieren tratar las correas se traten por separado con etanol al 70% (55).

Por último, se han incluido cinco estudios que analizaban la efectividad de la luz UV para la inactivación de otros virus. Dos estudios analizaban la eficacia de la luz UV en la inactivación de varios patógenos, entre los que se encontraban virus (16, 56). Dos estudios analizaron la eficacia de la luz UV para la descontaminación de objetos, uno sobre bandejas utilizadas en los controles de seguridad de los aeropuertos (52) y otro un sistema para la descontaminación de bolígrafos compartidos en un centro sanitario (53). Por último, un estudio analizaba la eficacia de la luz UV en la descontaminación de mascarillas inoculadas con virus de la gripe (57).

El estudio de Buonanno et al. analiza la eficacia de la luz UV-C lejana para la inactivación de coronavirus humanos en aerosoles. Los autores utilizan una cámara de irradiación de aerosol para probar la eficacia de la luz ultravioleta lejana de 222 nm para inactivar dos coronavirus humanos en aerosol, beta HCoV-OC43 y alfa HCoV-229E. Los resultados indican que con las dosis de luz UV de 222 nm de 1,7 mJ/cm<sup>2</sup> o 1,2 mJ/cm<sup>2</sup> se produce una inactivación del 99,9% del HCoV-229E alfa o del HCoV-OC43 beta en aerosol.

Los autores sugieren que la exposición continua a la luz UV lejana, dentro del límite reglamentario de 23 mJ/cm<sup>2</sup> por 8 horas de exposición, daría lugar a la inactivación viral del 90% en aproximadamente 8 minutos, del 95% en aproximadamente 11 minutos, del 99% en aproximadamente 16 minutos y del 99,9% en aproximadamente 25 minutos (16).

Buonannon et al. (16) concluyen que dosis muy bajas de luz UV lejana eliminan eficazmente los coronavirus humanos transportados por aerosoles. Una dosis tan baja como 1,2 a 1,7 mJ/cm<sup>2</sup> de luz de 222 nm inactiva el 99,9% de los coronavirus humanos aéreos examinados de los géneros beta y alfa, respectivamente. Dado que todos los coronavirus humanos tienen un tamaño genómico similar, un determinante clave de la sensibilidad a la radiación, es probable que la luz UV lejana muestre una

eficiencia de inactivación comparable contra otros coronavirus humanos, incluido el SARS-CoV-2.

Narita et al. realizaron un estudio para evaluar la eficacia de la luz UV-C de 222 nm en la inactivación de varios patógenos, entre los que se incluyen dos virus, el calicivirus felino (CVF) y el de la gripe A. Estos virus fueron irradiados con dos lámparas de 222 y 254 nm a varias dosis de irradiación.

El DITC50 del CVF fue decreciendo, pero seguía siendo detectado tras la máxima dosis de UV-C probada de 36 mJ/cm<sup>2</sup>. El efecto de la luz UV-C de 222 nm era comparable a la luz UV-C de 254 nm. En el caso del virus de la gripe A, se consiguió una reducción a niveles indetectables con una dosis de 6 mJ/cm<sup>2</sup>.

Estos resultados sugieren que la luz UV-C de 222 y 254 nm no es capaz de inactivar completamente el CVF, pero consigue inactivar completamente el virus influenza.

Cadnum et al. evaluaron la eficacia de la luz UV-C para la desinfección de las bandejas utilizadas en los controles de seguridad de los aeropuertos. Se aplicó una alícuota de 10 µl de cada patógeno analizado (*Staphylococcus aureus*, phiX714, Phi6 y MS2) en tres zonas distintas de las bandejas (fondo, pared vertical y anillo exterior)

La inactivación con luz UV varió en función de los patógenos estudiados. Los resultados mostraban para el *Staphylococcus aureus* una reducción mayor que para los bacteriófagos. También la inactivación varió en función del tiempo de exposición a la radiación UV, observándose que un mayor tiempo de exposición implica una mayor inactivación. Con una exposición de 30 segundos, se logró una reducción de 3 log<sub>10</sub> UFP para todos los organismos excepto los MS2, para los que se obtenía una reducción de 2 log<sub>10</sub>.

Cadnum et al. concluyen que la luz UV-C podría ser efectiva para la rápida descontaminación de los contenedores de seguridad del aeropuerto. La luz UV-C es ideal para la descontaminación de superficies duras y lisas como los contenedores de seguridad, que pueden colocarse cerca de la fuente de luz permitiendo un tratamiento de ciclos cortos. La luz UV-C es particularmente adecuada para la descontaminación de artículos como los contenedores de seguridad, que no se prestan fácilmente a los procesos estándar de limpieza y desinfección. Así, se merece tener en cuenta a la luz UV-C para la descontaminación de los depósitos de seguridad en el contexto de la preocupación por la transmisión de patógenos respiratorios virales como el SARS-CoV-2 en los aeropuertos.

También indican que son necesarios más estudios para evaluar la utilidad de la luz UV-C en escenarios reales en los aeropuertos.

Emig et al. (53) realizaron un estudio para evaluar un dispositivo para la desinfección de bolígrafos de uso compartido que utilizaba luz UV. Los bolígrafos eran inoculados con *Clostridioide difficile*, *Candida auris*, *Enterococcus* resistente a vancomicina, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* resistente a meticilina, Bacteriófago MS2 y Bacteriófago PhiX174 y se sometía a una exposición de 30 o 90 segundos.

La exposición de 90 segundos fue significativamente más efectiva que la exposición de 30 segundos (53). Respecto a la inactivación de *Escherichia coli*, *Enterococcus*, *Staphylococcus aureus* y el bacteriófago Phi X174, se consiguió una reducción superior a 2 log, no así en el caso de *C. difficile*, bacteriófago MS2 y *Candida auris*.

Emig et al. (53) concluyen que el dispositivo de luz UV-C era efectivo para reducir en los bolígrafos la contaminación con bacterias no formadoras de esporas y con un virus envuelto.

El estudio de Ontiveros et al. tiene como objetivo evaluar un sistema comercial de desinfección de superficies con luz UV para desinfección de mascarillas filtrantes N95. Los autores realizan varias pruebas para evaluar la eficacia de inactivación del sistema de luz UV sobre varios patógenos, entre los que se encuentra el virus de la gripe A. Se probaron cuatro tiempos de exposición a la luz UV: 90, 180, 300 y 600 segundos. En el caso del virus de la gripe A, el tratamiento con luz UV resultó efectivo en todos los tiempos de exposición probados con la menor dosis de luz UV aplicada (412 mJ/cm<sup>2</sup>), consiguiéndose la inactivación del virus por debajo del límite detectable (> 5 log).

También se ha incluido un estudio preprints, que no había recibido la revisión por pares en el momento de la publicación de este informe. Por tanto, los resultados y conclusiones de estos estudios han de tomarse con mucha cautela.

Este estudio ha sido realizado por Storm et al. (59) con el objetivo de describir la inactivación del SARS-CoV-2, tanto en medio húmedo como seco, mediante el tratamiento con un dispositivo de luz UV-C.

Se aplicó el virus a discos de plástico de 60 mm, en forma de gotas húmedas o secas, y se expusieron a la luz UV-C durante periodos de tiempo que variaban entre 0,8 y 120 segundos. La dosis de irradiación UV-C fue de 0,849 mW/cm<sup>2</sup>. Los resultados indicaron una inactivación parcial

a partir de 0,8 segundos de exposición, mientras que la infecciosidad del virus del SARS-CoV-2 se redujo a niveles inferiores a los detectables tras 9 segundos de exposición para el virus en medio seco y a los 4 segundos para el virus en medio húmedo.

Los autores concluyen que la luz UV-C se puede utilizar en una amplia variedad de centros como hospitales, asilos, lugares de trabajo, escuelas o centros comerciales para desinfectar equipos y superficies contaminadas y para prevenir y reducir la transmisión por contacto del SARS-CoV-2.

## **Seguridad de la Luz Ultravioleta para la desinfección de virus**

Ninguno de los estudios incluidos en el apartado de eficacia analiza la seguridad de la radiación UV-C para la desinfección de patógenos. Un informe de evaluación de tecnologías sanitarias realizado por la “National Services Scotland” analizó la seguridad de los dispositivos de luz UV-C.

Este informe (8) indica que la radiación UV es un mutágeno conocido, por lo que la exposición de los profesionales y los pacientes a la luz UV es un peligro potencial si están presentes cuando se realiza la desinfección. Los sistemas automatizados de desinfección con luz UV tienen sensores que se activan si se abre una puerta, por lo que sólo debería haber un riesgo significativo de exposición si los sensores funcionan mal. Por esta razón es importante asegurarse de que todas las entradas a una habitación tengan sensores de movimiento. Además, como los sistemas de luz ultravioleta no inactivan todos los microorganismos presentes, los que reciben una dosis subletal pueden sufrir una mutación, lo que puede conducir a un mayor riesgo de resistencia a los antimicrobianos.

### 4.3.Eficacia y seguridad de dispositivos de ozono para la desinfección de virus

Se han incluido seis estudios que analizan la eficacia del ozono en la desinfección de virus. Ninguno de los estudios incluidos analiza la eficacia de los dispositivos de desinfección de ozono en un ambiente sanitario.

El estudio de Dubuis et al. (60) tenía como objetivo investigar el efecto de la baja concentración de ozono en cuatro modelos bacteriófagos (phi 6, phi X174, PR772 y MS2) y un virus eucariota (norovirus murino NVM-1) utilizando una humedad relativa baja (20%), media (55%) y alta (85%) para evaluar la viabilidad de la desinfección con ozono en las habitaciones de los hospitales utilizando ventilación pasiva.

Los resultados indicaron que con una HR de 20%, se lograba una inactivación de al menos dos órdenes de magnitud de PR772 y phi 6 con 10 minutos de exposición al ozono. Sin embargo, ambos virus ya estaban cerca del límite de detección cuando se expusieron al ozono.

**Tabla 11. Resumen de los resultados de Dubuis et al. sobre el efecto del ozono a 1,13 ppm ± 0,26 ppm en los cuatro fagos probados y a 0,23 ppm ± 0,03 ppm en el MNV-1 a tres niveles de humedad relativa y tres tiempos de exposición.**

Tiempo de exposición (minutos)	Humedad relativa (%)		
	20	55	85
10	PR772 Phi6	-	PhiX174 PR772 MS2
40	-	Phi X174 MS2	Phi 6 MNV-1
70	-	-	-
NVM: norovirus murino			

Al 55% de HR, se requerían 40 minutos de exposición al ozono para ver la inactivación de los virus phi X174 y MS2. A 85% HR, se requirieron 10 minutos para phi X174, PR772 y MS2 y 40 minutos de exposición al ozono para los virus phi6 y NVM-1.

Los autores concluyen que el estudio demuestra la eficacia del tratamiento del aire para la inactivación de fagos y NVM-1 utilizando bajas concentraciones de ozono. Por otro lado, los autores indican que, en el contexto de la pandemia de SARS-CoV-2, es necesario trabajar en el futuro para evaluar la eficacia del tratamiento con ozono para reducir la transmisión de este virus en los hospitales y otros espacios públicos (60).

El estudio de Guo et al. (61) tiene como objetivo evaluar la eficacia de la desinfección por aplicación de formaldehído y ozono gaseoso en la gestión de los edredones hospitalarios contaminados por el virus de la hepatitis B (VHB).

Los autores analizaron dos grupos de tela y algodón para evaluar y comparar la eficacia de la desinfección del formaldehído y el ozono gaseoso.

Los resultados indicaron que tras 23, 36 y 46 minutos de desinfección con un esterilizador de ozono para somieres (modelo Kz-x-dL1), no se encontraron diferencias significativas en el número de copias de ADN del virus. Tras 90 minutos de desinfección con un esterilizador de ozono para unidades de cama (modelo LK/CXD), no hubo diferencias significativas en el número de copias de ADN de VHB entre los grupos de desinfección, y no hubo una disminución significativa en comparación con los grupos sin desinfección.

En el caso de la desinfección con formaldehído, tanto en telas como en algodón, se encontraron diferencias significativas tras la fumigación con 8 ml de formalina/4 g de KMnO<sub>4</sub> y 16 ml de formalina/8 g de KMnO<sub>4</sub> durante 1 hora respecto al grupo control sin desinfección, tras una hora de aplicación. No se observaron diferencias significativas en el número de copias de ADN viral en los grupos de desinfección entre la aplicación de 8 ml de formalina/4 g de KMnO<sub>4</sub> o de 16 ml de formalina/8 g de KMnO<sub>4</sub> ni en el tiempo de exposición de 1, 2 y 4 horas.

Los autores (61) concluyen que la aplicación de ozono para desinfectar los edredones de hospital contaminados por el VHB fue ineficaz. La fumigación con óxido de formaldehído produjo una reducción significativa del número de copias del VHB, pero puede tener efectos secundarios. Es necesaria la identificación de desinfectantes altamente eficaces y seguros que puedan utilizarse para esterilizar los edredones de hospital y otros materiales de ese tipo contaminados por el VHB.

Hudson et al. (62) evalúan la viabilidad de utilizar el gas de ozono como un medio eficaz para descontaminar diversas superficies duras y porosas que contienen películas secas o húmedas de diferentes virus, en presencia y ausencia de desechos celulares y fluidos biológicos. Además, desarrollaron un prototipo de generador de ozono y convertidor catalítico que podría utilizarse en una sala con contaminantes virales. También examinan el papel de la alta humedad en la mejora del proceso de inactivación de los virus, e incorporando esta característica en las pruebas de campo.

Los autores realizaron distintas pruebas para estudiar la inactivación de diferentes virus cuando eran expuestos al ozono. En la primera prueba se probó la efectividad del ozono en la inactivación de virus sobre muestras secas de virus del herpes simple (VHS), gripe y rinovirus (RV) sobre vidrio, plástico y acero inoxidable. En todos los casos, se observó la inactivación de todos los virus analizados, aunque el RV era más resistente al ozono que los otros dos virus.

Posteriormente se realizaron pruebas de inactivación de virus en una habitación de hotel, utilizando 3 dispositivos de ozono (Treated Air Systems) con una concentración de ozono de 28 ppm, y una humedad relativa del 40% y un tiempo de exposición de 60 minutos. Los resultados indicaron una inactivación de los virus VHS, gripe y RV de 2 log<sub>10</sub>.

Los autores analizaron la influencia de la humedad en la capacidad de inactivación del ozono, probando una concentración de 20 ppm de ozono a una humedad relativa del 38% y 70% durante 20 minutos. Los resultados mostraban mejor tasa de inactivación con una humedad relativa más alta.

Cuando se probaron diferentes virus sobre distintas muestras del dispositivo de ozono desarrollado por los autores no se observaron diferencias entre vidrio, plástico y acero inoxidable con algodón y superficies de tela. Se realizó una prueba para analizar la influencia de la presencia sangre humana o de componentes de suero humano y bovino en la eficacia de la inactivación del virus SINV (virus Sindbis) con ozono, no observándose ninguna diferencia en la eficacia de la inactivación.

También se analizó la eficacia de la desinfección con ozono en la inactivación del calicivirus felino (CVF) en suspensión, observándose una reducción del virus de entre 2,48 - 2,65 log<sub>10</sub>.

**Tabla 12. Virus susceptibles al gas ozono + humedad alta (con tasas de inactivación superiores a 3 Log<sub>10</sub> Inactivación)**

	<b>Importancia</b>	<b>Membrana + o -</b>
Virus Herpes simple	Representativo virus herpes	Sí
Adenovirus tipo 3 y 11	Representativo adenovirus	No
Virus Vaccinia	Representativo virus pox	Sí
Influenza	Representativo de virus influenza en humanos y aves	Sí
Coronavirus murino	Representativo virus SARS	Sí
Sindbis	Representativo virus hepatitis C	Sí
Fiebre Amarilla	Representativo virus hepatitis C	Sí
Estomatitis Vesicular	Representativo radovirus	Sí
Poliovirus	Virus entérico	No

Rinovirus tipo 1A y 14	Virus resfriado común	No
Calicivirus felino	Sustituto de norovirus	No

El estudio de Hudson et al (63) publicado en 2007, tiene como objetivo probar la eficacia del gas de ozono, de un generador de ozono portátil patentado, contra especímenes que contienen calicivirus felino (CVF) y Norovirus (NR), en una oficina, una habitación de hotel y un camarote de crucero.

Los autores analizaron la eficacia del ozono en la inactivación de tres muestras de CVF y NR en una oficina. En alguna de las muestras se añadió suero bovino fetal y heces con NV positivo para determinar el efecto de una carga orgánica representativa. En todos los casos analizados se observaron reducciones de la infecciosidad de ambos virus, indicando también que ambos virus se verían afectados de manera similar. La carga orgánica no afectaría a la eficacia del tratamiento con ozono.

Los resultados de electroforesis mostraron que las bandas de todas las muestras tratadas con ozono se redujeron sustancialmente en intensidad, lo que indicaba que las partículas de virus tratadas se habían alterado, aunque algunos trozos residuales de ARN viral seguían presentes y eran susceptibles de ser amplificados en las reacciones de PCR.

Las pruebas en una habitación de hotel se realizaron colocando muestras de CVF en el baño, encima de la cama y encima de una mesa. Tras el tratamiento con ozono, las muestras del baño y la mesa no dieron unidades formadoras de placas. En la cama se observó un valor de UFP <0,0002. Las muestras de CVF del baño y mesa, que no dieron placas de virus a una dilución de 1:10 se volvieron a analizar con el cálculo de dilución del punto final, mediante la visualización del efecto citopático (ECP), para determinar si había algún virus infeccioso tras el tratamiento con ozono. No se observó ningún ECP en las muestras de baño y mesa lo que permitía concluir que el virus se había erradicado en esas muestras.

Se realizó la misma prueba del hotel en un camarote de crucero, además se aplicó otro protocolo reducido, disminuyendo los tiempos de operación a 15 minutos de ozono, seguidos por 4 minutos de vapor de agua y 15 minutos de fregadora. En ambos protocolos se observó una reducción del virus y no se apreció ningún virus infeccioso residual tras las pruebas de ECP.

Los autores realizaron pruebas adicionales en la oficina, se secaron muestras de réplica de las heces positivas al CVG y al NV en muestras de tela, algodón y alfombra. Éstas se colocaron en varios lugares de la oficina para imitar los posibles lugares de contaminación durante un brote de NV.

Todas las muestras mostraron una sensibilidad similar al ozono, independientemente de su ubicación o de la superficie sobre la que se secaron.

El estudio de Tseng et al. (64) evaluó los efectos del ozono en la inactivación de cuatro tipos de bacteriófagos: MS2 como ejemplo ssARN, phi X174 como ssADN, phi 6 como dsARN y T7 como dsADN.

Los autores valoraron los efectos de la concentración de ozono, el tiempo de contacto, el tipo de ácido nucleico del virus, la arquitectura de la proteína de la cápside y la HR en la supervivencia del virus.

Los resultados indicaron que a una humedad relativa del 55%, para obtener un 90% de inactivación del virus con un tiempo de contacto con ozono de 13,8 segundos, los virus phi 6, phi X174, MS2 y T7 requerían una concentración de ozono de 1,16 ppm, 1,87 ppm, 3,43 ppm y 5,20 ppm, respectivamente. Para una inactivación vírica del 99%, phi 6, phi X174, MS2 y T7 necesitaron una concentración de ozono de 2,50 ppm, 3,84 ppm, 6,63 ppm y 10,33 ppm, respectivamente. Estos resultados también indican que la concentración de ozono para lograr una inactivación del 90% y el 99% de MS2 y T7 es aproximadamente de 2 a 4 veces mayor que las de phi X174 y phi6.

Cuando se aumenta el tiempo de contacto con el ozono, disminuye la concentración requerida de ozono para lograr la inactivación del virus. Así para una inactivación vírica del 90%, con un tiempo de contacto de 18,4 segundos, los virus phi 6, phi X174, MS2 y T7 requirieron una concentración de ozono de 0,64 ppm, 0,85 ppm, 1,45 ppm y 2,32 ppm, respectivamente. Para una inactivación del 99% requerían una concentración de ozono de 1,43 ppm, 1,90 ppm, 2,90 ppm, y 5,12 ppm, respectivamente. También se observó que la concentración de ozono requerida para una HR del 85% fue de 1,2-1,7 veces más baja que la requerida para una HR de 55%.

Los autores también analizaron la influencia de la dosis de ozono sobre la inactivación de los virus. En este caso, los resultados mostraron que con una HR del 55%, la dosis de ozono requerida para obtener una inactivación del 90% de phi 6, phi X174, MS2, y T7 fue de 0,47, 0,72, 1,28 y 1,98 min-mg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Para una inactivación del 99% de phi 6, phi X174, MS2 y T7 se requirió una dosis de ozono de 1,05, 1,58, 2,60 y 4,19 min-mg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Los resultados sugerían que los fagos T7 y MS2 son más resistente al ozono que los fagos phi X174 y phi 6.

Los autores (64) concluyen que la fracción de supervivencia de los virus transmitidos por vía aérea disminuyó exponencialmente con el aumento de la dosis de ozono. El virus requirió una dosis de ozono de 0.34-1.98 y 0.80- 4,19 min-mg/m<sup>3</sup> para una inactivación del 90% y el 99%, respectivamente. Con un corto tiempo de contacto en el aire, la susceptibilidad del virus al ozono podría estar relacionado con el tipo de arquitectura de la cápside de los virus y con la envoltura. Una cápside viral más compleja podría proporcionar mayor protección contra la inactivación por ozono. Asimismo, se observó que los virus envueltos presentaban una mayor susceptibilidad al ozono. En cuanto a los efectos de la HR, la susceptibilidad a los virus era mayor al 85% de HR que al 55% de HR. Esto podría estar relacionado con la generación de más radicales del ozono que reaccionaron con más vapor de agua a mayor HR.

Los mismos autores publicaron en 2008 (65) un estudio que evaluaba la eficacia del ozono en la inactivación de virus sobre superficies. En este caso, los autores analizaron el tiempo de contacto necesario para la inactivación de los virus con concentraciones distintas de ozono. Los resultados mostraron que con una HR del 55% y una concentración de ozono de 0,6 ppm se requería un tiempo de contacto de 22 minutos para la inactivación del 90% del virus Phi6, 46 minutos para el virus phi X174, 73 minutos para el MS2 y 100 minutos para el T7. Cuando se aumentó la concentración de ozono de 0,6ppm a 0,9 ppm el tiempo de contacto requerido descendía un 20-55% (de 65 minutos a 17 minutos). Con una concentración de 1,2 ppm de ozono, el tiempo de contacto necesario disminuía entre un 38-85% (de 44 a 7 minutos). A una concentración de 0,9 y 1,2 ppm, el tiempo de contacto requerido para una reducción viral de 99% era el doble que para una reducción del 90%.

Al igual que lo observado en el estudio de Tseng et al. (64) publicado en 2006, los fagos MS2 y T7 eran más resistentes al ozono. Los resultados indicaban que para lograr una reducción viral del 90% y 99% era necesario entre 2 y 5 veces más tiempo que con los fagos PhiX174 y Phi 6. También se observa que a mayor humedad relativa es necesario menor tiempo de contacto con el ozono.

Los autores (65) concluyen que la desinfección de virus en superficies podría realizarse para tiempos de exposición largos y bajos niveles de ozono.

La búsqueda sistemática ha permitido identificar un estudio preprint, previo a la revisión por pares, que evaluaba el ozono como método de desinfección de mascarillas filtrantes y otros tipos de equipos de protección personal frente al SARS-CoV-2.

Blanchard et al (66) evaluaron, entre el 2 de abril y el 24 de abril de 2020, cuatro dispositivos de ozono de tres empresas (Global Ozone Innovations, Zono Technologies y VirtuCLEAN. Las pruebas de desactivación de los virus se realizaron sobre tres materiales ampliamente utilizados en ambientes sanitarios: mascarillas de tela, Tyvek (un polietileno utilizado en guantes y trajes) y mascarillas N95. La concentración de ozono utilizada fue de 20 ppm, en dos situaciones: con un control de la humedad del 80% de HR y sin control de la humedad. Los resultados mostraron que se alcanzaba la inactivación eficaz del virus de la gripe tras 18 minutos de exposición con una humedad del 80% y tras 4 horas de exposición sin control de la humedad. Estos resultados fueron similares en los tres materiales analizados.

Los autores sugieren que la exposición al ozono puede ser un método ampliamente accesible para desinfectar los equipos de protección personal, permitiendo una reutilización más segura en tiempos de escasez de recursos tanto para el personal sanitario como para los pacientes.

El principal impedimento para el uso del ozono en la descontaminación de las mascarillas N95 es el daño causado a las cintas elásticas. Sería necesario retirar las cintas elásticas antes y después del tratamiento con ozono.

Debido que este estudio no ha sido revisado por pares, los resultados y conclusiones se han de tomar con cautela.

## **Seguridad del Ozono para la desinfección de virus**

No se han encontrado estudios que valoren la seguridad de los dispositivos de ozono para la desinfección de virus.

El ozono es una sustancia química muy oxidante que puede provocar efectos adversos graves a altas concentraciones. Según información suministrada por la ECHA el ozono es mortal si se inhala, causa graves quemaduras en la piel, provoca daños en los órganos por exposición prolongada o repetida, es muy tóxico para la vida acuática, es muy tóxico y con efectos duraderos para la vida acuática, puede causar o intensificar el fuego (comburente) y causa graves daños en los ojos (13).

Además, se sospecha que causa defectos genéticos, irritación de la piel y de vías respiratorias–y a concentraciones muy altas puede provocar la muerte (13).

El estudio de Tseng et al. resalta que existen dos problemas importantes en el uso de ozono para la desinfección, relacionados con el efecto nocivo

de la exposición al ozono y los efectos secundarios para los seres humanos (64). Uno de los efectos adversos que se puede producir por la utilización de estos dispositivos es la vasoconstricción periférica que se puede producir por la inhalación de ozono, que puede ser especialmente grave en ancianos hospitalizados o institucionalizados (64). Para minimizar los riesgos es conveniente desinfectar las superficies en una cámara, es decir, en un espacio confinado, en lugar de en un espacio abierto, para prevenir la exposición al ozono (64). En caso de no poderse realizar sería necesario ventilar la habitación.

Debido a estos efectos secundarios, los valores de exposición al ozono se encuentran regulados. Así la norma UNE 400-201-94 establece un valor inferior a  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (67). El Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo informa de unos valores máximos de ozono de  $0,1 \text{ mg}/\text{m}^3$  para un tiempo de 8 horas o de  $0,4 \text{ mg}/\text{m}^3$  para un tiempo máximo de 2 horas (68).

Por otro lado, los profesionales deben ir equipados correctamente con trajes adecuados, guantes y protectores oculares. En el caso de que las concentraciones fueran muy elevadas también tendrían que estar equipados con protección respiratoria (13).

## 5. Discusión

La actualización de esta revisión bibliográfica ha permitido identificar 14 estudios adicionales sobre eficacia de la radiación UV y 1 estudio sobre la eficacia del ozono para la desinfección de virus, que se suman a los 9 estudios sobre la radiación UV y 6 sobre el ozono identificados previamente. De los estudios identificados en la actualización, 6 analizaban específicamente la inactivación con luz UV del virus SARS-CoV-2 y 2 con virus análogos al SARS-CoV-2. Sólo uno de estos estudios se realizó en el ámbito hospitalario para la prevención de infecciones víricas de las vías altas respiratorias. El resto de estudios se realizaron a escala de laboratorio.

También se han incluido cuatro revisiones sobre la eficacia de la luz UV y otros dispositivos en la descontaminación de mascarillas filtrantes y otros equipos de protección personal (15, 36, 38, 39). Sólo una de estas revisiones incluía estudios que analizaban la eficacia de la luz UV sobre el SARS-CoV-2 (36).

Los resultados de los estudios incluidos indican que la desinfección de SARS-CoV-2 con dispositivos de luz UV-C es eficaz y relativamente fácil y rápida. Se ha observado que serían más eficaces que muchos de los desinfectantes utilizados (21) y que la desinfección con calor seco (50, 55), aunque sería menos eficaz que el PHV (48, 55). Respecto a la dosis necesaria para la inactivación de SARS-CoV-2, Derraik et al. (36) indican que los estudios analizados sugieren que una dosis de luz UV-C de aproximadamente 1000 mJ/cm<sup>2</sup> sería probablemente eficaz contra el SARS-CoV-2 en una superficie relativamente plana y en ausencia de suciedad. Sin embargo, debido a los posibles errores en la estimación de la dosis aplicada en los distintos estudios considerados, a la incertidumbre respecto a la susceptibilidad real del SARS-CoV-2 a la luz UV-C y a los efectos de los materiales sobre la susceptibilidad del SARS-CoV-2 o a la dificultad de que la luz UV alcance las capas internas de las mascarillas EPI, Derraik et al. (36) sugieren que sería mejor emplear una dosis de UV-C más conservadora de 1500-2000 mJ/cm<sup>2</sup> por ambas caras de la mascarilla.

El único estudio que analiza la eficacia de un dispositivo en un ámbito hospitalario (14) concluye que los dispositivos de luz UV-C pueden ayudar a reducir las tasas de incidencia de infecciones respiratorias causadas por virus. El resto de estudios analizados también concluyeron que la radiación UV era eficaz en la reducción de carga viral en las superficies analizadas, incluidas las mascarillas N95.

Los estudios que analizaron el efecto de la luz UV sobre varios tipos de patógenos, indicaron que la eficacia de la desinfección de la luz UV es menor para virus que para bacterias. En el estudio de Cadnum et al. (50) se indica que, aunque se logró una reducción de la carga vírica en las mascarillas desinfectadas con luz UV-C, esta sería inferior a  $3 \log_{10}$  por lo que no habrían cumplido el requisito establecido para la descontaminación (50). Los resultados de los estudios que analizan la eficacia de la radiación UV sobre diferentes tipos de virus indican que los coronavirus son más sensibles a los agentes desinfectantes.

La irradiación con luz UV-C presenta una serie de limitaciones. El patógeno ha de estar expuesto directamente a la radiación para ser eliminado pues si se encuentra bajo el agua u otra superficie no será eliminado. En el estudio de Cadnum et al. (50) se observó que la eficacia en el interior de las mascarillas de la luz UV-C era menor que en la parte exterior. También observó variación en la reducción de la carga del patógeno en función del tipo de mascarilla desinfectada. Tres de los estudios que analizaban la eficacia de la desinfección con luz UV de mascarillas EPI inoculadas con SARS-CoV-2 indicaban que la eficacia dependía de la parte de las mascarillas que se desinfectaba, así como del modelo y material utilizado. Incluso en algunas mascarillas EPI se observaba que el virus no se inactivaba completamente (43, 46, 48). Respecto a la integridad de las mascarillas tras el tratamiento con luz UV, se han observado resultados contradictorios. Dos estudios evaluaron también la integridad de las mascarillas tras el tratamiento con luz UV y los resultados sugieren que la integridad y rendimiento de las mascarillas no se verían afectadas por el tratamiento de descontaminación (43, 48).

Un informe publicado por Applied Research Associates reseñó que la evidencia disponible sobre la eficacia de la descontaminación de las mascarillas N95 está basada en el virus de la gripe (69). Algunos estudios informan sobre la reducción de SARS-CoV-1 y MERS-CoV pero ninguno ofrece datos sobre SARS-CoV-2. Además, como se ha observado en los estudios incluidos en esta revisión, la eficacia de la radiación UV-C para la descontaminación de las mascarillas dependería del diseño y del material de las mismas (69).

Por otro lado, muchos dispositivos de luz UV-C miden la dosis reflejada de luz, por lo que aquellas superficies que no reflejen la luz recibirán una dosis UV menor. Además, la intensidad de la radiación disminuye cuanto más alejada esté la fuente, limitando su capacidad para desinfectar habitaciones grandes (8).

También se han observado variaciones en la reducción de la carga viral con la desinfección de luz UV-C en función de la humedad relativa, de tal

manera que con una humedad relativa del 55% la reducción de carga viral era mayor que con una humedad relativa del 85%.

Otro inconveniente de los dispositivos es que la radiación UV-C tiene efectos adversos sobre los seres humanos en función de la longitud de onda, intensidad y tiempo de exposición (70). La radiación UV-C puede causar eritema y daños oculares. En este último caso, los problemas oculares pueden persistir a los dos años de la exposición (71). Por otro lado, la utilización de lámparas de luz UV-C puede provocar la formación de ozono, que puede causar síntomas respiratorios, sobre todo en las personas más sensibles (71). Por estos motivos, la desinfección debe realizarse en ausencia del personal y los pacientes, ya que implica riesgos para la salud.

Algunos autores sugieren que la desinfección con luz UV-C sería más efectiva como adyuvante de la desinfección manual de superficies y no como reemplazo de esta (18). La “International Ultraviolet Association” (IUVA) ha publicado información relativa a la eficacia de la radiación ultravioleta en la desinfección de SARS-CoV-2. La IUVA indica que, en aquellos casos en que la radiación UV-C no puede llegar al patógeno, éste no se desinfectará, pero se producirá una reducción sustancial del número total de patógenos y por tanto del riesgo de transmisión (72). En estos casos, la radiación UV-C podría actuar como una barrera secundaria para la limpieza especialmente en situaciones apresuradas (72).

La CIE (Comisión Internacional de Iluminación) publicó en mayo de 2020 una nota de posicionamiento (3) donde señala que los productos que emiten luz UV-C son extremadamente útiles para desinfectar el aire y las superficies, o para esterilizar el agua. También se indica que tanto la CIE como la OMS desaconsejan el uso de lámparas de desinfección de luz UV para desinfectar las manos u otras áreas de la piel((73) a menos que esté clínicamente justificado. La radiación UV-C puede ser muy peligrosa para los seres humanos y los animales y, por lo tanto, sólo puede utilizarse en productos debidamente diseñados que cumplan las normas de seguridad o en circunstancias muy controladas en las que la seguridad sea la primera prioridad, asegurando que no se superen los límites de exposición establecidos por la *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (10) y la *International Electrotechnical Commission* (74). Las mediciones apropiadas de luz UV son esenciales para una evaluación adecuada sobre la radiación UV y la gestión de riesgos.

Respecto a la desinfección con dispositivos de ozono, los resultados muestran que sería eficaz para la inactivación de virus, si bien ninguno de estos estudios ha analizado su aplicación en la inactivación del SARS-CoV-2 ni sobre ningún otro virus de la familia de los coronavirus ni

tampoco se han realizado en el ámbito hospitalario, no siendo estos resultados extrapolables.

Al igual que se ha observado en la desinfección con luz UV-C, los fagos phi6 análogos a los coronavirus serían más susceptibles al ozono que otros fagos.

También se ha visto un efecto importante de la humedad relativa, observándose mayor eficacia del ozono como desinfectante a mayor humedad relativa (60, 62-65). Esto podría estar relacionado con que el O<sub>3</sub> reacciona con el agua formando radicales de libres de O<sub>2</sub><sup>-</sup>, HO<sub>2</sub><sup>-</sup> y NO que aumentan el poder de desinfección.

Ninguno de los estudios incluidos analiza los posibles efectos adversos del ozono. Sin embargo, el ozono puede tener consecuencias perjudiciales para la salud por su naturaleza corrosiva. Cuando se inhala, el ozono puede dañar los pulmones, incluso a concentraciones bajas puede causar dolor en el pecho, tos, falta de aliento e irritación de garganta (75), y a concentraciones muy altas puede llegar a causar la muerte (13). De hecho, se han establecido valores límites para la exposición de los trabajadores entre de 0,1 mg/m<sup>3</sup> para un tiempo de 8 horas o de 0,4 mg/m<sup>3</sup> para un tiempo inferior a 2 horas (68). Una vez realizada la desinfección se debe ventilar la habitación para disminuir la concentración de ozono residual que haya quedado.

Los dispositivos de desinfección de ozono, presentan una serie de limitaciones como son su toxicidad, su limitada eficacia contra las esporas bacterianas y los hongos, y su efecto potencialmente corrosivo sobre los materiales (metales y caucho) que se encuentran comúnmente en el equipamiento de los hospitales (76). Tras la desinfección con ozono se ha de ventilar la habitación para lograr una concentración de ozono no peligrosa.

Respecto al uso de dispositivos de ozono, la Sociedad Española de Sanidad Ambiental (SESA), desaconseja el uso del ozono como desinfectante ya que no está probada su eficacia como viricida, por otro lado, tampoco se conocen cuáles serían las dosis necesarias para utilizarlo como viricida ni las consecuencias que podrían tener para la salud.

En relación con el uso de ozono el Ministerio de Sanidad ha publicado una nota informativa sobre los usos permitidos del ozono y las obligaciones de los responsables de su puesta en el mercado y utilización (77). En ningún caso está permitido su uso en presencia de las personas. Un uso inadecuado de estos equipos puede provocar daños para la salud

humana. No se recomienda el uso de estos equipos o dispositivos para un uso doméstico.

Además, una serie de sociedades e instituciones científicas tanto españolas como de Iberoamérica (78) recomiendan no utilizar cabinas o túneles de desinfección que exponen a las personas a radiación UV-C, ozono y otros compuestos químicos, por tratarse de procedimientos que implican riesgos para la salud, con potenciales efectos irritantes para la piel y mucosas, reacciones cutáneas, lesiones oculares y afectación del tracto respiratorio, y que en conjunto empeoran la situación de salud actual de la sociedad, afectando asimismo a la vida animal y el medio ambiente.

En este documento también se especifica que estas prácticas de desinfección y esterilización están reservadas exclusivamente a personal con entrenamiento específico en el manejo de riesgos biológicos que utilice equipos de protección personal adecuados al riesgo, y que participe en tareas con alto grado de exposición a estos compuestos químicos o que trabajen en servicios de desinfección y esterilización habilitados (78).

Asimismo, no existe ningún producto biocida con actividad viricida que esté autorizado para su uso por nebulización sobre las personas (79). El Ministerio de Sanidad ha publicado recientemente una nota sobre el uso de productos biocidas donde advierte que no se debe comercializar ni usar biocidas que no hayan sido expresamente autorizados y registrados debidamente o en su caso notificados (79). El Ministerio de Sanidad publica una lista con los productos evaluados y registrados para los que se ha demostrado su eficacia viricida (79).

La Asociación Internacional del Ozono ha publicado un documento en el que manifiesta que aunque el ozono es altamente efectivo para la inactivación de muchos virus, no se han realizado aún estudios específicos sobre SARS-CoV-2, por lo que no se pueden obtener conclusiones definitivas respecto a la inactivación de este virus por ozono (80). Por otro lado, el Ministerio de Sanidad en su nota sobre el uso de biocidas hace una mención específica al uso del ozono, advirtiendo de los efectos adversos sobre la salud, del peligro de su uso y de la necesidad de usar equipamiento de protección (79).

En una guía para la prevención de infecciones gastrointestinales por coronavirus se indica que son necesarios más estudios para clarificar la efectividad de la radiación UV y del ozono para reducir la contaminación ambiental por coronavirus (81). Por otro lado, un informe de Evaluación de Tecnologías Sanitarias sobre tecnologías de desinfección en instalaciones médicas (76) concluye que la aplicación de las tecnologías de superficie, como puede ser la radiación UV, en general se ve limitada por la falta de

información sobre la durabilidad y sobre si la actividad antimicrobiana se ve afectada por factores como la humedad, la temperatura, la frecuencia de limpieza y/o la presencia de una carga orgánica

En resumen, la evidencia disponible sobre desinfección de virus con dispositivos de radiación ultravioleta es muy escasa, muy heterogénea y en algunos casos contradictoria. Aunque los resultados disponibles sugieren que reduce la carga vírica, podría no ser suficiente para lograr la desinfección en un entorno del mundo real. En el caso de los dispositivos de ozono, la evidencia disponible es más escasa que para la radiación ultravioleta, no encontrándose ningún estudio sobre la eficacia en virus de la familia del coronavirus. Ambos tipos de dispositivos tienen riesgos para la salud, principalmente daños en la piel y en el tejido ocular. Ninguna de las principales agencias sanitarias europeas o estadounidenses recomiendan el uso de estos dos tipos de dispositivos para la desinfección del SARS-CoV-2 y se advierte sobre los posibles efectos adversos de su utilización.

## 6. Conclusiones

La evidencia disponible sugiere que los dispositivos de luz UV-C podrían inactivar el SARS-CoV-2 de una forma fácil y rápida. Sin embargo, la evidencia disponible es todavía escasa y muy heterogénea. Los dispositivos de ozono pueden reducir la población de virus sobre las superficies. Sin embargo, no se ha encontrado evidencia sobre la eficacia y seguridad de la desinfección del SARS-CoV-2 con ozono.

Ambos dispositivos presentan riesgos para la salud. En el caso de la luz UV-C, se pueden producir daños en la piel o daños en el tejido ocular (fotoqueratitis). El uso de los dispositivos de luz UV puede generar la producción de ozono, que también presenta riesgos para la salud. En el caso de los dispositivos de ozono, los principales efectos adversos son la irritación en las vías respiratorias y la vasoconstricción. Además, los dispositivos de ozono pueden producir quemaduras en la piel. El personal que los utilice tiene que acreditar formación profesional para su uso y debe estar equipado adecuadamente, para minimizar el riesgo de la exposición.

Son necesarios más estudios que evalúen la eficacia de ambos dispositivos en la desinfección del SARS-CoV-2 en el ámbito sanitario, para conocer las dosis óptimas necesarias de radiación UV u ozono para lograr su desinfección, así como conocer los efectos secundarios de la utilización de los mismos.

# Referencias

1. Tseng CC, Li CS. Inactivation of viruses on surfaces by ultraviolet germicidal irradiation. *J Occup Environ Hyg.* 2007;4(6):400-5.
2. Card KJ, Crozier D, Dhawan A, Dinh M, Dolson E, Farrokhian N, et al. UV Sterilization of Personal Protective Equipment with Idle Laboratory Biosafety Cabinets During the Covid-19 Pandemic. *medRxiv.* 2020.
3. International Commission on Illumination (CIE). Posición de la CIE respecto a la radiación ultravioleta (UV) para reducir el riesgo de transmisión del COVID-19 2020 [Available from: <http://cie.co.at/publications/cie-position-statement-use-ultraviolet-uv-radiation-manage-risk-covid-19-transmission>].
4. Jinadatha C, Simmons S, Dale C, Ganachari-Mallappa N, Villamaria FC, Goulding N, et al. Disinfecting personal protective equipment with pulsed xenon ultraviolet as a risk mitigation strategy for health care workers. *Am J Infect Control.* 2015;43(4):412-4.
5. Sagripanti JL, Lytle CD. Sensitivity to ultraviolet radiation of Lassa, vaccinia, and Ebola viruses dried on surfaces. *Arch Virol.* 2011;156(3):489-94.
6. Tomas ME, Cadnum JL, Jencson A, Donskey CJ. The Ebola disinfection booth: evaluation of an enclosed ultraviolet light booth for disinfection of contaminated personal protective equipment prior to removal. *Infect Control Hosp Epidemiol.* 2015;36(10):1226-8.
7. Jordan WS, Jr. The mechanism of spread of Asian influenza. *Am Rev Respir Dis.* 1961;83(2)Pt 2:29-40.
8. Health Protection Scotland-NHS. Literature Review and Practice Recommendations: Existing and Emerging Technologies Used for Decontamination of the Healthcare Environment – UV Light. *National Services Scotland;* 2019.
9. Otter JA, Yezli S, Perl TM, Barbut F, French GL. The role of 'no-touch' automated room disinfection systems in infection prevention and control. *J Hosp Infect.* 2013;83(1):1-13.
10. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation). *Health Phys.* 2004;87(2):171-86.
11. Asociación Española de normalización (AENOR). Especificación UNE 0065. Requisitos de seguridad para aparatos UV-C utilizados para la desinfección de locales y superficies.: AENOR; 2020 [Available from: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0064094>].

12. US Environmental Protection Agency. Waste Technology Fact Sheet: Ozone Disinfection. Washington: United States Environmental Protection Agency; 1999. Contract No.: EPA 832-F-99-063.
13. European Chemical Agency (ECHA). Ozone: European Chemical Agency 2020 [Available from: <https://echa.europa.eu/es/registration-dossier/-/registered-dossier/22480/9>].
14. Pavia M, Simpser E, Becker M, Mainquist WK, Velez KA. The effect of ultraviolet-C technology on viral infection incidence in a pediatric long-term care facility. *Am J Infect Control*. 2018;46(6):720-2.
15. Heßling M, Hönes K, Vatter P, Lingenfelder C. Ultraviolet irradiation doses for coronavirus inactivation - review and analysis of coronavirus photoinactivation studies. *GMS Hyg Infect Control*. 2020;15:Doc08.
16. Buonanno M, Welch D, Shuryak I, Brenner DJ. Far-UVC light (222 nm) efficiently and safely inactivates airborne human coronaviruses. *Sci Rep*. 2020;10(1):10285.
17. Walker CM, Ko G. Effect of ultraviolet germicidal irradiation on viral aerosols. *Environ Sci Technol*. 2007;41(15):5460-5.
18. Bedell K, Buchaklian AH, Perlman S. Efficacy of an Automated Multiple Emitter Whole-Room Ultraviolet-C Disinfection System Against Coronaviruses MHV and MERS-CoV. *Infect Control Hosp Epidemiol*. 2016;37(5):598-9.
19. Deshmukh DR, Pomeroy BS. Ultraviolet inactivation and photoreactivation of avian viruses. *Avian Dis*. 1969;13(3):596-602.
20. Cartwright SF. A cytopathic virus causing a transmissible gastroenteritis in swine. II. Biological and serological studies. *J Comp Pathol*. 1966;76(1):95-106.
21. Ansaldi F, Banfi F, Morelli P, Valle L, Durando P, Sticchi L, et al. SARS-CoV, influenza A and syncytial respiratory virus resistance against common disinfectants and ultraviolet irradiation. *Journal of Preventive Medicine and Hygiene*. 2004;45(1-2):5-8.
22. Cavanagh D. Coronaviruses and Toroviruses. In: Zuckerman AJ, Banatvala JE, Pattison JR, editors. *Principles and practice of clinical virology* 4th ed. Chichester: Willey; 2000.
23. Hirano N, Hino S, Fujiwara K. Physico-chemical properties of mouse hepatitis virus (MHV-2) grown on DBT cell culture. *Microbiol Immunol*. 1978;22(7):377-90.
24. Saknimit M, Inatsuki I, Sugiyama Y, Yagami K. Virucidal efficacy of physico-chemical treatments against coronaviruses and parvoviruses of laboratory animals. *Jikken Dobutsu*. 1988;37(3):341-5.
25. Terpstra FG, van 't Wout AB, Schuitemaker H, van Engelenburg FA, Dekkers DW, Verhaar R, et al. Potential and limitation of UVC irradiation for the inactivation of pathogens in platelet concentrates. *Transfusion*. 2008;48(2):304-13.

26. Bucknall RA, King LM, Kapikian AZ, Chanock RM. Studies with human coronaviruses. II. Some properties of strains 229E and OC43. *Proc Soc Exp Biol Med.* 1972;139(3):722-7.
27. Eickmann M, Gravemann U, Handke W, Tolksdorf F, Reichenberg S, Mueller TH, et al. Inactivation of Ebola virus and Middle East respiratory syndrome coronavirus in platelet concentrates and plasma by ultraviolet C light and methylene blue plus visible light, respectively. *Transfusion.* 2018;58(9):2202-7.
28. Liu Y, Cai Y, Zhang X. Induction of caspase-dependent apoptosis in cultured rat oligodendrocytes by murine coronavirus is mediated during cell entry and does not require virus replication. *J Virol.* 2003;77(22):11952-63.
29. Blázquez E, Rodríguez C, Ródenas J, Navarro N, Riquelme C, Rosell R, et al. Evaluation of the effectiveness of the SurePure Turbulator ultraviolet-C irradiation equipment on inactivation of different enveloped and non-enveloped viruses inoculated in commercially collected liquid animal plasma. *PLoS One.* 2019;14(2):e0212332.
30. Eickmann M, Gravemann U, Handke W, Tolksdorf F, Reichenberg S, Mueller TH, et al. Inactivation of three emerging viruses - severe acute respiratory syndrome coronavirus, Crimean-Congo haemorrhagic fever virus and Nipah virus - in platelet concentrates by ultraviolet C light and in plasma by methylene blue plus visible light. *Vox Sanguinis.* 2020;115(3):146-51.
31. Kariwa H, Fujii N, Takashima I. Inactivation of SARS coronavirus by means of povidone-iodine, physical conditions and chemical reagents. *Dermatology.* 2006;212 Suppl 1(Suppl 1):119-23.
32. Duan SM, Zhao XS, Wen RF, Huang JJ, Pi GH, Zhang SX, et al. Stability of SARS coronavirus in human specimens and environment and its sensitivity to heating and UV irradiation. *Biomed Environ Sci.* 2003;16(3):246-55.
33. Darnell MER, Subbarao K, Feinstone SM, Taylor DR. Inactivation of the coronavirus that induces severe acute respiratory syndrome, SARS-CoV. *J Virol Methods.* 2004;121(1):85-91.
34. Darnell MER, Taylor DR. Evaluation of inactivation methods for severe acute respiratory syndrome coronavirus in noncellular blood products. *Transfusion.* 2006;46(10):1770-7.
35. Kowalski W. Performance of the UV24 Unit Against Zoonotic Pathogens. San Fernando, California: Medical Illumination; 2017 [Available from: <http://www.medillum.com/wp-content/uploads/2017/03/Performance-of-the-UV24-Unit-Against-Zoonotic-Pathogens.pdf>].
36. Derraik JGB, Anderson WA, Connelly EA, Anderson YC. Rapid Review of SARS-CoV-1 and SARS-CoV-2 Viability, Susceptibility to Treatment, and the Disinfection and Reuse of PPE, Particularly Filtering Facepiece Respirators. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(17).

37. O'Hearn K, Gertsman S, Sampson M, Webster R, Tsampalieros A, Ng R, et al. Decontaminating N95 and SN95 masks with ultraviolet germicidal irradiation does not impair mask efficacy and safety. *J Hosp Infect.* 2020;106(1):163-75.
38. Seresirikachorn K, Phoophiboon V, Chobarporn T, Tiankanon K, Aeumjaturapat S, Chusakul S, et al. Decontamination and reuse of surgical masks and N95 filtering facepiece respirators during COVID-19 pandemic: A systematic review. *Infection Control and Hospital Epidemiology.* 2020.
39. Yang H, Hu J, Li P, Zhang C. Ultraviolet germicidal irradiation for filtering facepiece respirators disinfection to facilitate reuse during COVID-19 pandemic: A review. *Photodiagnosis and photodynamic therapy.* 2020:101943.
40. Duan SM, Zhao XS, Wen XS, Huamng JJ, Pi GH, Zhang SX, et al. Stability of SARS Coronavirus in Human Specimens and Environment and Its Sensitivity to Heating and UV Irradiation. *Biomedical and Environmental Sciences.* 2003;16(3):246.
41. Heimbuch B, Harnish D. Research to mitigate a shortage of respiratory protection devices during public health emergencies. Panama, EEUU: Applied Research Associates; 2019.
42. Kariwa H, Fujii N, Takashima I. Inactivation of SARS Coronavirus by Means of Povidone-Iodine, Physical Conditions and Chemical Reagents. *Dermatology.* 2006;212(suppl 1)(Suppl. 1):119-23.
43. Fischer RJ, Morris DH, van Doremalen N, Sarchette S, Matson MJ, Bushmaker T, et al. Effectiveness of N95 Respirator Decontamination and Reuse against SARS-CoV-2 Virus. *Emerg Infect Dis.* 2020;26(9):2253-5.
44. Heilingloh CS, Aufderhorst UW, Schipper L, Dittmer U, Witzke O, Yang D, et al. Susceptibility of SARS-CoV-2 to UV irradiation. *Am J Infect Control.* 2020;48(10):1273-5.
45. Inagaki H, Saito A, Sugiyama H, Okabayashi T, Fujimoto S. Rapid inactivation of SARS-CoV-2 with deep-UV LED irradiation. *Emerg Microbes Infect.* 2020;9(1):1744-7.
46. Ozog DM, Sexton JZ, Narla S, Pretto-Kernahan CD, Mirabelli C, Lim HW, et al. The effect of ultraviolet C radiation against different N95 respirators inoculated with SARS-CoV-2. *International journal of infectious diseases : IJID : official publication of the International Society for Infectious Diseases.* 2020;100:224-9.
47. Ratnesar-Shumate S, Williams G, Green B, Krause M, Holland B, Wood S, et al. Simulated Sunlight Rapidly Inactivates SARS-CoV-2 on Surfaces. *J Infect Dis.* 2020;222(2):214-22.
48. Smith JS, Hanseler H, Welle J, Rattray R, Campbell M, Brotherton T, et al. Effect of various decontamination procedures on disposable N95 mask integrity and SARS-CoV-2 infectivity. *Journal of Clinical and Translational Science.* 2020:1-5.

49. Mills D, Harnish DA, Lawrence C, Sandoval-Powers M, Heimbuch BK. Ultraviolet germicidal irradiation of influenza-contaminated N95 filtering facepiece respirators. *Am J Infect Control*. 2018;46(7):e49-e55.
50. Cadnum JL, Li DF, Redmond SN, John AR, Pearlmutter B, Donskey CJ. Effectiveness of Ultraviolet-C Light and a High-Level Disinfection Cabinet for Decontamination of N95 Respirators. *Pathog Immun*. 2020;5(1):52-67.
51. Stibich M, Stachowiak J. The microbiological impact of pulsed xenon ultraviolet disinfection on resistant bacteria, bacterial spore and fungi and viruses. *Southern African Journal of Infectious Diseases*. 2016;31(1):12-5.
52. Cadnum JL, Li DF, Jones LD, Redmond SN, Pearlmutter B, Wilson BM, et al. Evaluation of Ultraviolet-C Light for Rapid Decontamination of Airport Security Bins in the Era of SARS-CoV-2. *Pathog Immun*. 2020;5(1):133-42.
53. Emig E, Alhmidi H, Ng-Wong YK, Mana TSC, Cadnum JL, Donskey CJ. Efficacy of a novel ultraviolet light-emitting diode device for decontamination of shared pens in a health care setting. *American Journal of Infection Control*. 2020;48(1):100-2.
54. Gerchman Y, Mamane H, Friedman N, Mandelboim M. UV-LED disinfection of Coronavirus: Wavelength effect. *J Photochem Photobiol B*. 2020;212:112044.
55. Ludwig-Begall LF, Wielick C, Dams L, Nauwynck H, Demeuldre PF, Napp A, et al. The use of germicidal ultraviolet light, vaporized hydrogen peroxide and dry heat to decontaminate face masks and filtering respirators contaminated with a SARS-CoV-2 surrogate virus. *J Hosp Infect*. 2020.
56. Narita K, Asano K, Naito K, Ohashi H, Sasaki M, Morimoto Y, et al. Ultraviolet C light with wavelength of 222 nm inactivates a wide spectrum of microbial pathogens. *Journal of Hospital Infection*. 2020;105(3):459-67.
57. Ontiveros CC, Sweeney CL, Smith C, Maclsaac S, Munoz S, Davidson R, et al. Characterization of a commercially-available, low-pressure UV lamp as a disinfection system for decontamination of common nosocomial pathogens on N95 filtering facepiece respirator (FFR) material. *Environmental Science-Water Research & Technology*. 2020;6(8):2089-102.
58. Simmons SE, Carrion R, Alfson KJ, Staples HM, Jinadatha C, Jarvis WR, et al. Deactivation of SARS-CoV-2 with pulsed-xenon ultraviolet light: Implications for environmental COVID-19 control. *Infect Control Hosp Epidemiol*. 2020:1-4.
59. Storm N, McKay L, Downs S, Johnson R. Rapid and complete inactivation of SARS-CoV-2 by ultraviolet-C irradiation. 2020.
60. Dubuis ME, Dumont-Leblond N, Laliberté C, Veillette M, Turgeon N, Jean J, et al. Ozone efficacy for the control of airborne viruses:

Bacteriophage and norovirus models. PLoS One. 2020;15(4):e0231164.

61.Guo D, Li Z, Jia B, Che X, Song T, Huang W. Comparison of the effects of formaldehyde and gaseous ozone on HBV-contaminated hospital quilts. Int J Clin Exp Med. 2015;8(10):19454-9.

62.Hudson J, Sharma M, Vimalanathan S. Development of a Practical Method for Using Ozone Gas as a Virus Decontaminating Agent. Ozone-science & Engineering - OZONE-SCI ENG. 2009;31:216-23.

63.Hudson JB, Sharma M, Petric M. Inactivation of Norovirus by ozone gas in conditions relevant to healthcare. J Hosp Infect. 2007;66(1):40-5.

64.Tseng C-C, Li C-S. Ozone for Inactivation of Aerosolized Bacteriophages. Aerosol Science and Technology. 2006;40(9):683-9.

65.Tseng C, Li C. Inactivation of surface viruses by gaseous ozone. J Environ Health. 2008;70(10):56-62.

66.Blanchard EL, Lawrence JD, Noble JA, Xu M, Joo T, Ng NL, et al. Enveloped Virus Inactivation on Personal Protective Equipment by Exposure to Ozone. medRxiv. 2020.

67.Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). UNE 400-201-94 [Texto impreso] : generadores de ozono: tratamiento de aire : seguridad química: AENOR; 1994.

68.Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). Límites de exposición profesional para agentes químicos en España. 2019. Madrid; 2019.

69.Applied Research Associates Inc. (ARA). Decontamination and Reuse of N95 Filtering Facepiece Respirators (FFRs). 2020.

70.US Food and Drugs Administration (FDA). FDA Reminds Patients that Devices Claiming to Clean, Disinfect or Sanitize CPAP Machines Using Ozone Gas or UV Light Have Not Been FDA Authorized: US Food and Drugs Administration 2020 [Available from:

<https://www.fda.gov/news-events/press-announcements/fda-reminds-patients-devices-claiming-clean-disinfect-or-sanitize-cpap-machines-using-ozone-gas-or-uv>.

71.Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks (SCHEER). Opinion on Biological effects of UV-C radiation relevant to health with particular reference to UV-C lamps. Luxembourg: European Commission; 2017.

72.International Ultraviolet Association. IUVA Fact Sheet on UV Disinfection for COVID-19: International Ultraviolet Association, ; 2020 [Available from:

<http://www.iuva.org/IUVA-Fact-Sheet-on-UV-Disinfection-for-COVID-19>.

73.Organization WH. Coronavirus disease (COVID-19) advice for the public: Myth buster: WHO; 2020 [Available from:

<https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/myth-busters>.

74.(ICE/CIE) IEC. International standard: Photobiological safety of lamps and lamp systems (IEC 62471:2006/CIE S 009:2002). 2006.

75.US Environmental Protection Agency. Ozone Generator that are Sold as Air Cleaners. Washington: United States Environmental Protection Agency.

76.CADTH. Non-Manual Room Disinfection Techniques for Infection Prevention in Healthcare Facilities: A Review of the Clinical Effectiveness, Cost-Effectiveness, and Guidelines. Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health; 2015. Contract No.: RC0659-000.

77.Ministerio de Sanidad. Nota informativa sobre el uso del ozono: Ministerio de Sanidad; 2020 [Available from: <https://www.mscbs.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/prodQuimico/sustPreparatorias/biocidas/docs/notaozono.pdf>].

78.Sociedad Iberoamericana de Salud Ambiental, Sociedad Española de Salud Ambiental, Red de Centros de Información y Asesoría Toxicológica de Centroamérica, al e. Recomendación de NO utilización de dispositivos de rociado de sustancias químicas, exposición a ozono o radiación ultravioleta (UV-C) 2020 [14/05/2020]. Available from: <http://www.anecpla.com/contenido-anecpla-7182>.

79.Ministerio de Sanidad. Nota sobre el uso de productos biocidas para la desinfección del COVID-19: Ministerio de Sanidad; 2020 [Available from:

[https://www.mscbs.gob.es/en/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov-China/documentos/Nota\\_sobre\\_el\\_uso\\_de\\_productos\\_biocidas\\_27.04.2020.pdf](https://www.mscbs.gob.es/en/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov-China/documentos/Nota_sobre_el_uso_de_productos_biocidas_27.04.2020.pdf).

80.International Ozone Association. Statement on COVID-19: International Ozone Association, ; 2020 [Available from: <https://www.ioa-pag.org/resources/Documents/EOC%20Files/IOA%20Coronavirus%20Statement.pdf>].

81.MacCanell T, Umscheid CC, Agarwal RK, Lee I, Kunt G, Stevenson KB, et al. Guideline for the Prevention and Control of Norovirus Gastroenteritis Outbreaks in Healthcare Settings. Centers for Disease Control And Prevention; 2011.

82.Lore MB, Heimbuch BK, Brown TL, Wander JD, Hinrichs SH. Effectiveness of three decontamination treatments against influenza virus applied to filtering facepiece respirators. Annals of Occupational Hygiene. 2012;56(1):92-101.

83.Mills D, Harnish DA, Lawrence C, Sandoval-Powers M, Heimbuch BK. Ultraviolet germicidal irradiation of influenza-contaminated N95

filtering facepiece respirators. American Journal of Infection Control. 2018;46(7):e49-e55.

84.Vo E, Rengasamy S, Shaffer R. Development of a test system to evaluate procedures for decontamination of respirators containing viral droplets. Applied and environmental microbiology. 2009;75(23):7303-9.

85.Woo M-H, Grippin A, Anwar D, Smith T, Wu C-Y, Wander JD. Effects of relative humidity and spraying medium on UV decontamination of filters loaded with viral aerosols. Applied and environmental microbiology. 2012;78(16):5781-7.

# Anexos

## Anexo 1. Estrategia de búsqueda

PUBMED (FECHA DE BÚSQUDA: 06/05/2020)		
N	Búsqueda	Resultado
#21	#8 AND #17 AND #22	367
#20	#8 AND #21 AND #22	94
#19	((coronavirus[MeSH Terms]) OR (((covid-19[Text Word]) OR (sars cov 2[Text Word])) OR (coronavirus*[Text Word]))) OR (virus*[Text Word])	858,807
#18	(Ozone[MeSH Terms]) OR (ozon*[Text Word])	24,769
#17	ozon*[Text Word]	24,769
#16	Ozone[MeSH Terms]	14,588
#15	#15 OR #17	139,377
#14	((Ultraviolet[Text Word] OR UV)[Text Word]) AND ((Ray[Text Word] OR radiation[Text Word] OR Light)[Text Word])	139,377
#13	ultraviolet light[MeSH Terms]	76,959
#12	#9 OR #10 OR #11 OR #12 OR #13	11,447,552
#11	(((((center*[Text Word] OR Centre[Text Word] OR setting*[Text Word] OR institution* OR Hospital*)[Text Word]) OR (clinic*[Text Word]) OR (ambulatory[Text Word])) OR (Healthcare[Text Word])) OR (medical[Text Word])	9,944,115
#10	space*[Text Word]	456,082
#9	surface*[Text Word]	1,277,946
#8	air[Text Word]	313,533
#7	#1 OR #7	217,864
#6	#2 OR #3 OR #4 OR #5 OR #6	102,162
#5	(sterilisation[Text Word]) OR (Steriliz*[Text Word])	48,025
#4	sanitiz*[Text Word]	2,452
#3	sanitation[Text Word]	15,17
#2	Disinfect*[Text Word]	43,809
#1	((disinfection[MeSH Terms]) OR (sterilization[MeSH Terms])) OR (infection control[MeSH Terms]) OR (sanitation[MeSH Terms])	169,079

<b>EMBASE (FECHA DE BÚSQUEDA: 06/05/2020)</b>		
<b>N</b>	<b>Búsqueda</b>	<b>Resultado</b>
#23	#6 AND #13 AND #31	162
#20	#6 AND #10 AND #31	423
#19	#26 OR #27 OR #28 OR #29 OR #30	891272
#18	virus*:ti,ab,kw	875560
#17	'coronavirus infection'/exp	13068
#16	coronavirus*:ti,ab,kw	15207
#15	(sars NEAR/3 cov NEAR/3 2):ti,ab,kw	1794
#14	(covid NEAR/2 19):ti,ab,kw	5596
#13	#23 OR #24	38397
#12	ozon*:ti,ab,kw	33042
#11	'ozone'/exp	28871
#10	#19 OR #20 OR #21	145439
#9	(uv NEAR/3 (ray OR radiation OR light)):ti,ab,kw	36448
#8	(ultraviolet NEAR/3 (ray OR radiation OR light)):ti,ab,kw	32015
#7	'ultraviolet radiation'/exp	126497
#6	#1 OR #2 OR #3 OR #4 OR #5	625235
#5	steriliz*:ti,ab,kw	40478
#4	sterilisation:ti,ab,kw	3515
#3	sanitation:ti,ab,kw	13197
#2	disinfection:ti,ab,kw	25879
#1	'disinfection'/exp OR 'disinfection system'/exp OR 'sanitation'/exp OR 'infection control'/exp	576364

<b>Cochrane Library (FECHA DE BÚSQUEDA: 06/05/2020)</b>		
<b>N</b>	<b>Búsqueda</b>	<b>Resultado</b>

#1	MeSH descriptor: [Disinfection] explode all trees	337
#2	MeSH descriptor: [Sanitation] explode all trees	217
#3	MeSH descriptor: [Infection Control] explode all trees	1146
#4	((sanitiz*) OR (steriliz*) OR (disinfectant) OR (sterili?e)):ti,ab,kw	2728
#5	#1 OR #2 OR #3 OR #4	3823
#6	((UV OR Ultraviolet) NEAR/2 (Ray OR Radiation OR Light)):ti,ab,kw	1649
#7	MeSH descriptor: [Ultraviolet Rays] explode all trees	644
#8	#6 OR #7	2004
#9	(Ozon*):ti,ab	848
#10	MeSH descriptor: [Ozone] explode all trees	295
#11	#9 OR #10	848
#12	(coronavirus* OR (covid NEAR/2 19) OR (sars NEAR/3 cov NEAR/3 2) OR Virus*):ti,ab,kw	30075
#13	MeSH descriptor: [Coronavirus] explode all trees	13
#14	#12 OR #13	30075
#16	#5 AND #11 AND #14	1
#18	#5 AND #8 AND #14	0
#1	MeSH descriptor: [Disinfection] explode all trees	337
#2	MeSH descriptor: [Sanitation] explode all trees	217
#3	MeSH descriptor: [Infection Control] explode all trees	1146
#4	((sanitiz*) OR (steriliz*) OR (disinfectant) OR (sterili?e)):ti,ab,kw	2728
#5	#1 OR #2 OR #3 OR #4	3823

## Anexo 2. Características de los estudios incluidos

Estudio (año)	Lugar	Ámbito	Objetivo	Tecnologías analizadas	Patógenos analizados	Conclusiones
Ansaldi (2004)	Italia	Laboratorio	Evaluar la eficacia viricida de desinfectantes químicos, la radiación UV contra el SARS-CoV, en comparación con la resistencia de otros virus respiratorios envueltos, como el de la gripe y el RSV	Desinfectantes químicos Radiación UV (40mW/cm <sup>2</sup> ). No se especificó el tipo de dispositivo	SARS-CoV Gripe RSV	<p>Tanto el SARS-CoV como el RSV parecen ser sensibles a los diferentes desinfectantes probados como a la radiación ultravioleta, mientras que el virus de la gripe parece ser más resistente, en particular a la acción del digluconato de clorhexidina y el cloruro de benzalconio.</p> <p>El hipoclorito de sodio al 0,1% parece ser el desinfectante más eficaz para las superficies y manos potencialmente contaminadas con virus respiratorios y el SARS-CoV</p>
Bedell (2016)	EEUU	Laboratorio	Analizar la eficacia de la desinfección de MERS-CoV con un sistema de desinfección automatizada con luz UV-C con tres emisores de luz UV-C.	Sistema automatizado de desinfección UV-C con múltiples emisores de surfactantes	MHV-A59 (análogo de ratón del MERS-CoV)	El uso del sistema de desinfección UV-C de sala entera Surfacede durante los brotes de MERS puede prevenir la propagación nosocomial del virus y proteger al personal en el proceso.
Blanchard (2020) Preprint	EEUU	Laboratorio	Evaluar la capacidad del ozono para inactivar virus respiratorios	Equipos comerciales de ozono	Gripe A y virus respiratorio sincitial como	Nuestro trabajo sugiere que la exposición al ozono puede ser un método ampliamente accesible para

Estudio (año)	Lugar	Ámbito	Objetivo	Tecnologías analizadas	Patógenos analizados	Conclusiones
			encapsulados en mascarillas filtrantes N95 y otros equipos de protección personal		sustitutos del SARS-CoV-2	desinfectar los EPP, permitiendo una reutilización más segura tanto para los trabajadores de la salud como para los pacientes en tiempos de escasez de recursos.
Buonanno (2020)	EEUU	Laboratorio	Medir la eficiencia con la que la luz UV-C lejana inactiva dos coronavirus humanos cuando se exponen en gotitas de aerosol de tamaños similares a las generadas durante los estornudos y la tos	Lámpara de luz UV-C de 222 nm de KrCl de USHIO América (Canadá)	HCoV-229E (VR-740) HCoV-OC43	Dosis muy bajas de luz UV lejana eliminan eficientemente los coronavirus humanos transportados por aerosoles. Una dosis tan baja como 1,2 a 1,7 mJ/cm <sup>2</sup> de luz de 222 nm inactiva el 99,9% de los coronavirus humanos aéreos probados de los géneros beta y alfa, respectivamente. Como todos los coronavirus humanos tienen un tamaño genómico similar, un determinante clave de la sensibilidad a la radiación, es probable que la luz UV lejana muestre una eficiencia de inactivación comparable contra otros coronavirus humanos, incluyendo el SARS-CoV-2.
Cadnum (2020)	EEUU	Hospitalario.	Analizar la susceptibilidad de los bacteriófagos Phi6 and MS2 a la luz UV-C Eficacia de tres dispositivos para la	Caja de desinfección de luz UV-C Dispositivo de luz UV-C de	Bacteriófagos Phi6 (como análogo a coronavirus) y MS2 SARM	La luz UV-C podría ser útil para reducir la contaminación en los respiradores N95. Sin embargo, las tecnologías UV-C estudiadas no cumplían los criterios preestablecidos para la

Estudio (año)	Lugar	Ámbito	Objetivo	Tecnologías analizadas	Patógenos analizados	Conclusiones
			desinfección de mascarillas respiratorias N-95	descontaminación de habitaciones Cabina de Desinfección de Alto Nivel de Uso Múltiple Calor seco		descontaminación en las condiciones de prueba utilizadas. La cabina de desinfección de alto nivel era más eficaz y cumplía los criterios para la desinfección con un ciclo extendido
Cadnum (2020) b	EEUU	Laboratorio	Evaluar el potencial de la UV_C para la descontaminación rápida de las bandejas utilizada en los controles de seguridad de los aeropuertos	Lámpara de mercurio UV-C de 254 nm	<i>Staphylococcus aureus</i> resistente a meticilina PhiX174 Phi6 MS2	La luz UV-C es una tecnología atractiva para la rápida descontaminación de los contenedores de seguridad de los aeropuertos. Es necesario seguir trabajando para evaluar la utilidad de la luz UV-C en escenarios del mundo real y desarrollar métodos para proporcionar un movimiento automatizado de los contenedores a través de un proceso de descontaminación UV-C
Dubuis (2020)	Canadá	Laboratorio	Investigar el efecto de la baja concentración de ozono en cuatro modelos bacteriófagos y un virus eucariota a diferentes concentraciones de humedad relativa Evaluar la viabilidad de la desinfección con	Ozono, a través de un generador de ozono (EMO3-VTTL) conectado en una cámara de aerosol ambiental rotativa)	Phi 6, phi X174, PR772, MS2 y MNV1	Los autores concluyen que el estudio demuestra la eficacia del tratamiento del aire para la inactivación de fagos y MNV-1 utilizando bajas concentraciones de ozono. Son necesarios más estudios para analizar la eficacia del ozono sobre el SARS-CoV-2

Estudio (año)	Lugar	Ámbito	Objetivo	Tecnologías analizadas	Patógenos analizados	Conclusiones
			ozono en las habitaciones de los hospitales utilizando ventilación pasiva.			
Emig (2020)	EEUU	Laboratorio	Analizar la eficacia de un dispositivo con luz UV-C para la descontaminación de bolígrafos de uso compartido	Dispositivo con luz UV-C (Steri-Write system)	<i>Clostridioide difficile</i> <i>Candida auris</i> <i>Enterococcus</i> resistente a vancomicina <i>Escherichia coli</i> <i>Staphylococcus aureus</i> resistente a meticilina Bacteriófago MS2 Bacteriófago PhiX174	El dispositivo de luz UV-C era efectivo para reducir la contaminación con bacterias no formadoras de esporas y un virus envuelto en bolígrafos de uso compartido. Es necesario realizar estudios adicionales en los centros de salud para evaluar la eficacia del dispositivo en la reducción de la transmisión de patógenos por los utensilios de escritura compartidos.
Fisher (2020)	EEUU	Laboratorio	Analizar la eficacia de cuatro tecnologías en la descontaminación de mascarillas infectadas con SARS-CoV-2, así como su efecto en la funcionalidad de las mascarillas	Radiación UV (260-258 nm) Calo seco 70°C 70% etanol Peróxido de hidrógeno vaporizado	SARS-CoV-2	Los autores concluyen que las mascarillas N95 pueden ser descontaminadas y reutilizadas hasta 3 veces usando luz UV y PHV y 1-2 veces usando calor seco.

Estudio (año)	Lugar	Ámbito	Objetivo	Tecnologías analizadas	Patógenos analizados	Conclusiones
Gerchman (2020)	Israel	Laboratorio	Analizar la curva dosis-respuesta para la UV-LED a varias longitudes de onda	UV-LED system PearlBeam (AquiSense Technologies) (279-297 nm)	HCoV-OC43 como sustituto del SARS-CoV-2	La sensibilidad de Coronavirus HCoV-OC43 (usado como sustituto del SARS-CoV-2) depende de la longitud de onda con 267 nm ~ 279 nm > 286 nm > 297 nm.
Guo (2015)	China	Laboratorio	Evaluar la eficacia de la desinfección con la aplicación de formaldehído y ozono gaseoso en la gestión de los edredones hospitalarios contaminados por el VHB	Desinfección con formaldehído: Mediante cabina de fumigación Desinfección con ozono: mediante esterilizador de ozono para cama (modelos Kz-x-dL1 y LK/CXD)	VHB	Los autores concluyen que la aplicación de ozono para desinfectar los edredones de hospital contaminados por el VHB fue ineficaz. La fumigación con óxido de formaldehído produjo una reducción significativa del número de copias del VHB, pero puede tener efectos secundarios.
Heilingloh (2020)	Alemania	Laboratorio	Analizar la susceptibilidad del virus SARS-CoV-2 a la irradiación con luz UV.	UV Se utilizó el dispositivo de UV 4 S/L	SARS-CoV-2	La dosis de luz UV-C requerida para la inactivación completa fue de 1.048 mJ/cm <sup>2</sup> . La exposición a los rayos UVA demostró sólo un efecto débil en la inactivación del virus durante 15 minutos.  La inactivación del SARS-CoV-2 mediante la irradiación con luz UV constituye un método fiable para la desinfección de los establecimientos sanitarios y para la preparación del material del SARS-CoV-2 con fines de investigación.

Estudio (año)	Lugar	Ámbito	Objetivo	Tecnologías analizadas	Patógenos analizados	Conclusiones
Hudson (2007)	Canadá	Laboratorio	Evaluar la capacidad del gas de ozono para inactivar el Norovirus y el calicivirus felino (CVF) en muestras secas colocadas en varios lugares dentro de una habitación de hotel, un camarote de crucero y una oficina	Ozono (prototipo Viroforce ozone generator)	Norovirus, CVF	Nuestros resultados muestran que el Norovirus puede ser inactivado por exposición al gas de ozono de un generador comercial portátil en lugares como habitaciones de hotel, cabinas de cruceros y centros de salud.
Hudson (2009)	Canadá	Laboratorio	Desarrollar un método práctico para utilizar las propiedades antivirales del ozono en un dispositivo móvil que pudiera utilizarse para descontaminar habitaciones en centros de salud, hoteles y otros edificios	Ozono: con el dispositivo Corona Discharge System	Influenza, HSV, Rinovirus (RV-1A RV-14); Adenovirus tipo 3 y 11, MCV, Virus sindbis VFA, VEV, Poliovirus,, vaccinia	Los autores concluyen que el dispositivo desarrollado, basado en el uso de gas de ozono y alta humedad, tiene muchas aplicaciones potenciales donde se requiera una descontaminación eficiente de las habitaciones
Inagasaki (2020)	Japón	Laboratorio	Analizar la inactivación del SARS-CoV-2 con luz UV-LED	Diodo emisor de luz ultravioleta profundo (250-300nm)	SARS-CoV-2	La radiación UV-profunda de 280 nm inactiva rápidamente el SARS-CoV-2.  Se espera que el desarrollo de dispositivos equipados con luz UV-LED impida la propagación del virus a través del aire y en objetos contaminados.

Estudio (año)	Lugar	Ámbito	Objetivo	Tecnologías analizadas	Patógenos analizados	Conclusiones
Mills (2018)	EEUU	Laboratorio	Evaluar la eficiencia de descontaminación de la IGUV de una mascarilla respiratoria N95 inoculada con una cepa de gripe pandémica	UV-C dispositivo experimental	H1N1	Los autores concluyen que en la desinfección y reutilización de mascarillas N95, la implementación de un método de irradiación germicida de luz UV requerirá una cuidadosa consideración del modelo de FFR, el tipo de material y el diseño
Narita (2020)	Japón	Laboratorio	Evaluar la eficacia de la desinfección con luz UV-C de 222 nm contra varios patógenos humanos	Lámpara de 5m/Wcm <sup>2</sup> Lámpara de 250 nm de 3mW/cm <sup>2</sup>	<i>Stapylococcus aureus</i> <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Escherichia Coli</i> , <i>Salmonela entérica</i> <i>Campylobacter</i> <i>Bacillus cereus</i> <i>Clostridium sporogenes</i> <i>Clostridioides difficile</i> <i>Candida albicans</i> <i>Aspergillus niger</i> <i>Trichphyton rubrum</i> Calicivirus felino Gripe A	La radiación de 222 nm es capaz de inactivar un amplio espectro de patógenos microbianos. El efecto germicida sobre hongos y esporas es bajo. Sobre endoesporas bacterianas el efecto de la luz UV-C 222 nm es mayor que la de 254 nm

Estudio (año)	Lugar	Ámbito	Objetivo	Tecnologías analizadas	Patógenos analizados	Conclusiones
Ludwig-Begall (2020)	Bélgica	Laboratorio	Analizar el efecto de tres métodos de descontaminación de mascarillas filtrantes	UV (sistema LS-AT-M1) Peróxido de hidrógeno vaporizado (V-PRO Max Sterilizer) Calor seco (MSteryl)	Coronavirus respiratorio porcino (como sustituto del SARS-CoV-2)	La luz UV, el peróxido de hidrógeno vaporizado y el calor seco redujeron el coronavirus porcino en más de tres órdenes de magnitud que en las muestras de las mascarillas y lo hizo indetectable en todos los ensayos de descontaminación
Ontiveros (2020)	Canadá	Laboratorio	Caracterización de un sistema de desinfección de superficies con luz UV comercial para desinfección de mascarillas filtrantes N95	Sistema de desinfección por luz UV MoonBeam 3	<i>Eschericia Coli</i> Gripe A <i>Geobacillus stearothermophilus</i> <i>Staphilococcus aureus</i> <i>Bacillus cereus</i> <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	El tratamiento con luz UV en las mascarillas probadas en este trabajo resultó ser una tecnología prometedora en el proceso de descontaminación y reutilización de las mascarillas N95.
Ozog (2020)	EEUU	Laboratorio	Examinar la dosis de luz UV-C necesaria para la descontaminación de mascarillas filtrantes N95	Dispositivo de radiación germicida de luz UV con lámpara de baja presión de mercurio (fabricado por Daavlin)	SARS-CoV-2	La dosis de luz UV-C de 1.5 J/cm <sup>2</sup> es apropiada para la descontaminación de las mascarillas N95 del personal sanitario cuando se aplica sobre los modelos/materiales adecuados. Algunas correas pueden requerir una desinfección adicional para maximizar la seguridad de los trabajadores de primera línea.

Estudio (año)	Lugar	Ámbito	Objetivo	Tecnologías analizadas	Patógenos analizados	Conclusiones
						La aplicación de los métodos de descontaminación luz UV-C generalizada requiere una cuidadosa consideración del modelo, el tipo de material, el diseño y las pruebas de ajuste después de la irradiación
Pavia et al (2018)	EEUU	Hospitalario	Examinar el efecto de la luz UV-C sobre la incidencia de las infecciones virales de las vías respiratorias altas en una población pediátrica	Dispositivo de desinfección de luz UV-C	Gripe Rinovirus Enterovirus Metaneumovirus humano	La luz UV-C puede ayudar a reducir las tasas de incidencia de infecciones virales
Simmons (2020)	EEUU	Laboratorio	Determinar la efectividad de un sistema de desinfección con luz UV de xenón pulsado para reducir la carga de SARS-CoV-2 en superficies y mascarillas N95	Robot PXUV4D de UV-XP	SARS-CoV-2	Los dispositivos UV de xenón pulsado son una tecnología prometedora para reducir la biocarga de los equipos de protección ambiental y personal y mejorar tanto la seguridad de los trabajadores como de los pacientes al reducir el riesgo de exposición al SARS-CoV-2.
Smith (2020)	EEUU	Laboratorio	Probar la viabilidad de PVH, luz UV y etanol sobre la integridad de las mascarillas de N95 y la capacidad de eliminar	PVH, luz UV y etanol	SARS-CoV-2	Sólo el tratamiento con etanol eliminó el ARN detectable de SARS-CoV-2.

Estudio (año)	Lugar	Ámbito	Objetivo	Tecnologías analizadas	Patógenos analizados	Conclusiones
			el potencial infeccioso del SARS-CoV-2.			
Stibich (2016)	EE-UU y España	Laboratorio	Analizar el impacto de los dispositivos de luz ultravioleta pulsada de lámpara de Xenón (PX-UV) en los principales patógenos hospitalarios.	Dispositivo de luz UV pulsada de Xenón (dispositivo comercial)	Principales patógenos hospitalarios, entre los que se encuentra el virus MERS-CoV	La magnitud de la reducción logarítmica observada del uso de luz UV-PX contra cada uno de los estos microorganismos indicó que la desinfección con luz UV-PX jugó un papel en la prevención de la transmisión de estos organismos, y por lo tanto en reducir la morbilidad y la mortalidad asociadas. Además, disminuyendo la probabilidad de transmisión de estos organismos a través de un ambiente contaminado, los dispositivos de PX-UV pueden contribuir a los esfuerzos por abordar la resistencia a los antimicrobianos mediante la reducción del número de infecciones y, por lo tanto, ampliar la eficacia de antibióticos reduciendo la demanda de los mismos.
Storm (2020) Preprint	EEUU	Laboratorio	Describir la inactivación del SARS-CoV-2 en gotas secas y húmedas utilizando luz UV-C	Sistema de luz UV-C comercial Signify Ultraviolet	SARS-CoV-2	La luz UV-C es una herramienta que puede ser aplicada extensamente en un amplio rango de instituciones públicas como hospitales, asilos, lugares de trabajo, escuelas, aeropuertos y centros comerciales para desinfectar el equipo y las

Estudio (año)	Lugar	Ámbito	Objetivo	Tecnologías analizadas	Patógenos analizados	Conclusiones
						superficies contaminadas para prevenir y reducir la transmisión por contacto del SARS-CoV-2
Tseng (2007)	Taiwan	Laboratorio	Determinar la efectividad de la luz UV para la inactivación de virus en superficies	Luz UV mediante cámara experimental	ssARN (MS2) ssADN (phi X174) dsARN (phi 6) dsADN (T7)	Los autores concluyen la IGUV es un método efectivo para la inactivación de los virus en las superficies. Sin embargo, la efectividad de la IGUV para la inactivación de virus en superficies depende fuertemente del tipo de ácido nucleico del virus.
TSeng 2006	Taiwan	Laboratorio	Evaluar el efecto del ozono en la inactivación de bacteriófagos.	Ozono: generador de ozono OZ1PCS-V/SW	ssARN (MS2) ssADN (phi X174) dsARN (phi 6) dsADN (T7)	La desinfección con ozono es una técnica prometedora para la contaminación de superficies por virus
Walker (2007)	EEUU-Korea	Laboratorio	Analizar el efecto de la nebulización y el muestreo en aerosoles virales respiratorios, así como la susceptibilidad a la radiación UV de tres aerosoles virales y a la humedad relativa	Luz UV-C con una cámara experimental	Bacteriófago MS2 Adenovirus respiratorio Serotipo 2 VHM (como análogo de SARS)	Los autores concluyen que la desinfección del aire mediante la utilización de luz UV-C de 254 nm puede ser una herramienta eficaz para inactivar los aerosoles virales. De los tres virus examinados, el adenovirus fue el más resistente a la radiación UV-C de 254 nm y debe ser expuesto a altas dosis de luz UV para su completa inactivación. Sin embargo, los autores indican que es necesario realizar más estudios de laboratorio y epidemiológicos para dilucidar la eficacia de la

Estudio (año)	Lugar	Ámbito	Objetivo	Tecnologías analizadas	Patógenos analizados	Conclusiones
						desinfección del aire por luz UV en la reducción de las enfermedades virales respiratorias.
<p>IGUV: Irradiación Germicida de UV; IVRA: infecciones virales de las vías respiratorias altas; MERS-CoV: Coronavirus del Síndrome respiratorio del Oriente Medio. NVM: Norovirus Murino; VRS: virus respiratorio sincitial; SARM: <i>Staphylococcus aureus</i> resistente a la meticilina; VEV: Virus estomatitis vesicular; VHB: Virus Hepatitis B; VHM: virus de la hepatitis murina; VFA: Virus fiebre amarilla.</p>						

## Anexo 2. Características de los estudios incluidos en las revisiones sistemáticas sobre descontaminación de mascarillas

Estudio	Ámbito/objetivo	Patógeno	Inóculo y condiciones	Exposición a luz UV	Principales hallazgos
Duan et al. 2003, (32) incluido en Derraik et al. (36)	Laboratorio Estudio de inactivación de virus	SARS-CoV-1 (cepa CoV-P9)	6 log <sub>10</sub> DICT50 en 100 µL de medio de cultivo en placas de pocillo	UV-C 260 nm Irradiancia: >90 µW/cm <sup>2</sup> Distancia: 80 cm	Exposición a cultivos celulares. Efecto citopático indetectable con 300 mJ/cm <sup>2</sup> tras 60 minutos de exposición
Ansaldi et al. 2004 incluido en Derraik et al. (36)	Laboratorio Estudio de inactivación de virus	SARS-CoV-1 Gripe A VRS	1 ml solución salina con una concentración estándar de virus de origen celular sobre placas de cultivo celular. 18 °C y 40% de HR	Irradiancia: 40 c  Dosis de luz UV y distancia a la fuente no informada	Resultado negativo por cultivo celular y PCR con 12.000 mJ/cm <sup>2</sup> Métodos no descritos completamente
Darnell et al. 2004 (33) incluido en Derraik et al. (36)	Laboratorio Estudio de inactivación de virus	SARS-CoV (cepa Urbani)	2 mL de alícuota en placas de pocillo sobre hielo ~5.7 log <sub>10</sub> DITC50/mL	Dosis UV-C:254 nm Irradiación: 4016 µW/cm <sup>2</sup> Distancia: 3 cm	UV-C: inactivación parcial del virus a 1 min con una eficacia creciente de hasta 6 min, lo que dio lugar a una disminución de 400 veces del virus infeccioso. No se observó ninguna inactivación adicional de 6 a 10 min. Después de 15 min el virus

Estudio	Ámbito/objetivo	Patógeno	Inóculo y condiciones	Exposición a luz UV	Principales hallazgos
					<p>quedó completamente inactivo hasta el límite de detección del ensayo, que es <math>\leq 1.0</math> DITC50 (log10) por ml.</p> <p>La luz UVA no demostró ningún efecto significativo en la inactivación del virus durante un período de 15 min.</p>
<p>Darnell et al. 2006 (34)</p> <p>incluido en Derraik et al. (36)</p>	<p>Laboratorio</p> <p>Estudio de inactivación de virus</p>	<p>SARS-CoV (cepa Urbani)</p>	<p>Solución proteínica que imita los productos de las sangre en placas de pocillo sobre hielo</p>	<p>Dosis UVC:254 nm</p> <p>Irradiación: 4016 <math>\mu\text{W}/\text{cm}^2</math></p> <p>Distancia: 3 cm</p> <p>Dosis UV-A: 365 nm</p> <p>Irradiación UV-A: 2133 <math>\mu\text{W}/\text{cm}^2</math></p>	<p>El tratamiento con luz UVC disminuyó significativamente el título del virus después de 20 minutos e inactivó el SARS-CoV en PBS hasta el límite de detección en 40 minutos.</p> <p>El tratamiento con luz UVC no inactivó el virus en soluciones de proteína del BSA, y el virus seguía siendo infeccioso tras 60 minutos de tratamiento</p>
<p>Kariwa et al. 2006</p> <p>incluido en Derraik et al. (36)</p>	<p>Laboratorio</p> <p>Estudio de inactivación de virus</p>	<p>SARS-CoV (cepa Hanoi)</p>	<p>Alícuotas de 2 ml en placas de plástico de petri</p> <p>DICT50 7,6 log<sub>10</sub></p>	<p>Luz UV de cabina de bioseguridad estándar</p>	<p>Con la radiación UV el virus fue reducido de <math>3,8 \times 10^7</math> a 180 DICT50/ml en 15 min pero no seguía siendo detectado tras 60 minutos de</p>

Estudio	Ámbito/objetivo	Patógeno	Inóculo y condiciones	Exposición a luz UV	Principales hallazgos
				(probablemente UV-C) Irradiación: 134 W/cm <sup>2</sup>	irradiación UV con una DICT50 18,8
Heimbuch y Harnish 2019  incluido en Derraik et al. (36)	Laboratorio  Estudio de eficacia de la desinfección de mascarillas con diferentes métodos	SARS-CoV-1  MERS-CoV  Gripe A (H1N1), H7N9, H5N1	Recorte de mascarilla filtrante desechable probada en 3 condiciones: no hay agente de ensuciamiento, saliva artificial (mucina), aceite de piel artificial (sebo) Controles en 4.6-5.5 log <sub>10</sub> DITC50/mL	Lámpara de luz UVC (254 nm) Distancia 15,2-22,9 cm Irradiación: media de 2,3 mW/cm <sup>2</sup>	No se detecta ningún virus viable en las 3 condiciones probadas con 1000 mJ/cm <sup>2</sup> (es decir, 4.0 log <sub>10</sub> de reducción)
Eickmann et al. 2020 (30)  incluido en Derraik et al. (36)	Laboratorio  Estudio de inactivación de virus	SARS-CoV-1 Virus Nipah VFHCC	375 mL de concentrados plaquetarios 5,9 log <sub>10</sub> DICT50/mL	Sistema de placas UV THERAFLEX (UVC 254 nm) hasta 200 mJ/cm <sup>2</sup>	La irradiación con luz UV-C inactivó el SARS-CoV, VFHCC y VN tanto en los concentrados de plaquetas como en las unidades de plasma.  En los concentrados de plaquetas, con una dosis de UV-C de 100 mJ/cm <sup>2</sup> , la infectividad del SARS-CoV y

Estudio	Ámbito/objetivo	Patógeno	Inóculo y condiciones	Exposición a luz UV	Principales hallazgos
					<p>el VFHCC estuvieron por debajo del límite detectable. (es decir, 3,4 log<sub>10</sub> de reducción).</p> <p>En plasma, con una radiación de 3000 mJ/cm<sup>2</sup> se alcanzó la inactivación de los tres virus con una infectividad por debajo del límite detectable</p>
<p>Fisher et al. 2020 (43)</p> <p>incluido en Derraik et al. (36)</p>	<p>Laboratorio (carta)</p> <p>Estudio de eficacia de la desinfección de mascarillas N95 con diferentes métodos</p>	<p>SARS-CoV-2</p>	<p>~ 50 µL de inóculo en acero inoxidable y discos de mascarillas filtrantes N95 (DICT50: 4.5 log<sub>10</sub> /mL)</p>	<p>Dosis UV-C: 260-285 nm Irradiación: 0,55 mW/cm<sup>2</sup> Distancia de la fuente de UV-C: 50 cm.</p> <p>Tiempo de exposición: 10,30,60 min</p> <p>Energía de exposición: 0,33 J/cm<sup>2</sup> (10 minutos), 0,99 J/cm<sup>2</sup> (a los 30 minutos) y 1,98</p>	<p>Pruebas en Acero inoxidable - bajo LOD (4 log<sub>10</sub> de reducción) con 330 mJ/cm<sup>2</sup> Pruebas con N95-LOD no se alcanzó con 1980 mJ/cm<sup>2</sup> (visualmente estimado a partir de la figura como ~3 log<sub>10</sub> de reducción), pero no hay datos a partir de entonces (es decir, más allá de 60 min)</p>

Estudio	Ámbito/objetivo	Patógeno	Inóculo y condiciones	Exposición a luz UV	Principales hallazgos
				J/cm <sup>2</sup> (a los 60 minutos)	
Heilingloh et al. 2020 incluido en Derraik et al. (36)	Laboratorio  Estudio de inactivación del SARS-CoV-2 con luz UV	SARS-CoV-2	600 µL en 24 placas de pozo de pozo (DICT50: 6,7 log <sub>10</sub> /mL)	UV-C 254 nm Irradiación: 1.94 mW/cm <sup>2</sup> Distancia: 3 cm UVA 365 nm Irradiación: 0.54 mW/cm <sup>2</sup> Distancia: 3 cm	La luz UV-C logró la inactivación completa del virus tras 9 minutos de exposición, observando una reducción de mayor a 6,7 log <sub>10</sub> a 1048 mJ/cm <sup>2</sup> Los rayos UV-A no lograron la inactivación completa tras 9 minutos de exposición, con una reducción de 1,0 log <sub>10</sub> a una dosis aplicada de 292 mJ/cm <sup>2</sup>
Inagaki et al. 2020 incluido en Derraik et al. (36)	Laboratorio  Estudio de inactivación del SARS-CoV-2 con UV	SARS-CoV-2	Alícuotas de 150 µL con 4,3 log <sub>10</sub> UFP/mL en placa de Petri de 60 mm <sup>5</sup>	Diodo emisor de luz ultravioleta profunda (DUV-LED): 280 nm Irradiación: 3,75 mW/cm <sup>2</sup> Distancia: 20 mm  Tiempo de exposición: 1 s, 10 s, 20 s, 30 s, 60 s.	La tasa de reducción de títulos infecciosos fue del 87,4% con un tiempo de exposición de 1 segundo y del 99,9% tras 10 segundos de exposición.  A partir de los 20 segundos la reducción estuvo por debajo del límite de detección 3.2 log <sub>10</sub> de reducción de UFP/mL)

Estudio	Ámbito/objetivo	Patógeno	Inóculo y condiciones	Exposición a luz UV	Principales hallazgos
Smith et al. 2020 incluido en Derraik et al. (36)	Laboratorio  Estudio de eficacia de la desinfección de mascarillas N95 con diferentes métodos	SARS-CoV-2	100 µL de solución salina/albúmina con alto título viral "infiltrada directamente" en tres modelos diferentes de mascarillas N95 desechables y sus tiras.	UVC 254 nm Dosis aplicada 630 mJ/cm <sup>2</sup> a cada lado (es decir, 1260 mJ/cm <sup>2</sup> por muestra) durante 33 minutos	Los resultados de descontaminación con luz UV-C indican que no inactivó el virus tras 33 minutos de exposición.
Ozog et al. 2020 incluido en Derraik et al. (36)	Laboratorio  Estudio de eficacia de la luz UV en la desinfección de mascarillas N95	SARS-CoV-2	10 L de reserva viral de gotas (6.0 log <sub>10</sub> DITC50/mL) LOD 1.8 log <sub>10</sub> DITC50/mL, por lo que la inactivación hasta ~4.2 log <sub>10</sub> reducción	UVC 254 nm Dispositivo IGUV con 4 lámparas, irradiación de 16 mW/cm <sup>2</sup> a 11,5 cm de distancia. Dosis aplicada una sola vez de 1500 mJ/cm <sup>2</sup> probada	Se probó la desinfección en cuatro modelos N95, en cuatro ubicaciones (pieza de la nariz, ápice, barbilla y correa). La mayoría de las mascarillas (total n = 32) tenían cargas virales inferiores al límite de detección, a excepción de cuatro muestras de dos modelos.
Ratnesar-shumate et al. 2020 incluido en Derraik et al. (36)	Laboratorio  Inactivación del SARS-CoV-2 sobre superficies por luz solar simulada	SARS-CoV-2	Alícuotas: 5 µL de suspensión viral (en saliva "simulada" o FBS) en acero inoxidable Concentración de virus no especificada	UVB 280-315 nm Irradiación: Irradiancia: 0,16 mW/cm <sup>2</sup>  Tiempo de exposición: 20 min	Saliva 'simulada': reducción de 2.5 log <sub>10</sub> tras el tratamiento con UV-B (3 a 0.5 log <sub>10</sub> DITC50/mL) FBS: ~1.1 log <sub>10</sub> de reducción (de ~2.6 a ~1.5 log <sub>10</sub> DITC50/mL). Estudio destinado a demostrar la

Estudio	Ámbito/objetivo	Patógeno	Inóculo y condiciones	Exposición a luz UV	Principales hallazgos
				(dosis máxima aplicada 192 mJ/cm <sup>2</sup> )	inactivación del SARS-CoV-2 por la luz solar (que no incluye el espectro UVC)
Lore et al. (82)  Incluido en Yang et al. (39), en O'Hearn et al. 2020 y Seresirikachorn et al. 2020 (38)	Laboratorio  Estudio de eficacia de luz UV, calor húmedo y vapor generado por microondas para la desinfección del virus de la gripe en mascarillas filtrantes	Virus de la gripe tipo A (H5N1)	Se utilizó una concentración de virus DICT50 5,5 log <sub>10</sub> /ml	UVC: 254 nm Irradiancia: 1,6-2,2 mW/cm <sup>2</sup> Tiempo de exposición: 15 minutos  Dosis total: 18000 J ml <sup>-1</sup>  Distancia a la muestra: no informada	Las muestras recuperadas de las muestras tratadas con la IGUV requirieron más ciclos de amplificación para detectar el ARNv que el de cualquiera de los otros métodos analizados  Ninguno de los métodos de descontaminación utilizados redujo la concentración de genoma viral a un nivel que no pudiera ser amplificado por la PCR.
Mills et al. (83)  Incluido en Yang et al. (39), en O'Hearn et al. 2020 (37)	Laboratorio  Evaluar la eficacia de la descontaminación de virus de la gripe de mascarillas filtrantes con IGUV	Virus de la gripe (H1N1)	Se inocularon 12 mascarillas filtrantes N95 desechables con 10 goas de 1µl con el virus H1N1 en un área de 2 cm <sup>2</sup> (DICT50: 7 log <sub>10</sub> ) en cuatro zonas de las mascarillas (zona superior, media e inferior y tiras de la mascarilla). Se	UV-C: longitud de onda no informada Irradiancia 17 mW/cm <sup>2</sup>  Tiempo de exposición: 60-70 segundos  Dosis: 1 J/cm <sup>2</sup>	Tras el tratamiento con IGUV la reducción vírica en las muestras con mucina fue de DICT50: 1.42-4.84 log en las partes faciales de las mascarillas y de 0,00 a 4,31 en las correas  En las muestras con sebo, la reducción de DICT50 fue de 1,25-4,64 log en las partes faciales de las mascarillas y

Estudio	Ámbito/objetivo	Patógeno	Inóculo y condiciones	Exposición a luz UV	Principales hallazgos
			analizaron dos condiciones: saliva artificial (tampón de mucina) y aceite de piel artificial (grasa)		de 0,08-4,40 log en las correas.  Se recuperó virus viable en cada una de las muestras.  Las reducciones se consideraron significativas sobre la base de la eficiencia de descontaminación necesaria para desinfectar completamente el nivel más alto de contaminación de la gripe
Fisher et al. 2010  Incluido O' Heard et al. 2020 (37)	Laboratorio  Evaluar el efecto de la radiación UV en la descontaminación de mascarillas filtrantes	Bacteriófago MS2	Se inculó cada muestra de 5 cm <sup>2</sup> mascarilla filtrante con 10 <sup>7</sup> UFP de MS2 en medio acuoso. Tipos de mascarillas evaluadas: 6	UV-C: No informado Irradiancia: 2,5±1 mW/cm <sup>2</sup> Distancia: no informado Tiempo de exposición: 1-300 minutos Dosis: 1500-6000 J/m <sup>2</sup>	Se consiguió una reducción logarítmica entre 1,88 a 3,35. La reducción varía en función de la dosis de UV, del tiempo y del tipo de mascarilla analizada.
Heimbuch et al. 2011	Laboratorio	Virus de la gripe H1N1	Se inculó el virus en forma de aerosol o en forma de gotas	UV-C: 254 nm Irradiancia: 1,6-2,2 mW/cm <sup>2</sup>	Las tres tecnologías de descontaminación proporcionaron una

Estudio	Ámbito/objetivo	Patógeno	Inóculo y condiciones	Exposición a luz UV	Principales hallazgos
Incluido en O` Heard et al. 2020 (37) y Seresirikachorn et al. 2020 (38)	Evaluar el efecto del vapor generado por microondas, calor húmedo caliente y la IGUV en la descontaminación de mascarillas filtrantes		sobre 5 cm <sup>2</sup> en las mascarillas. La concentración de H1N1 osciló entre 4.1 a 6.1 log <sub>10</sub> DITC50	Distancia: 25 cm Tiempo de exposición: 15 minutos Dosis: 18.000 (J/m <sup>2</sup> )	reducción de más de 4 log del virus H1N1 viable. En el 93% de nuestros experimentos, el virus se redujo a niveles por debajo del límite de detección del método utilizado.
Vo et al. 2009 (84)  Incluido en O` Heard et al. 2020 (37)	Laboratorio  Desarrollar un sistema de prueba para evaluar la eficacia de los procedimientos de descontaminación de mascarillas contaminadas con gotas virales	MS2	Se inocularon gotas con una concentración de 10 <sup>7</sup> UFP de MS2 en medio 271B en un tipo de mascarilla N95	UV-C: 254 nm Irradiancia: 0,4 mW/cm <sup>2</sup> Distancia: No informado Tiempo de exposición: 60-300 minutos Dosis: 140400-72.000 (J/m <sup>2</sup> )	La descontaminación por luz UV logró una reducción de aproximadamente 3 log con una dosis de 4,32 J/cm <sup>2</sup> (3 h de tiempo de contacto con una intensidad de UV de 0,4 mW/cm <sup>2</sup> ), mientras que con dosis más altas de irradiación de luz UV (≥7.20 J/cm <sup>2</sup> ; intensidad UV, 0,4 mW/cm <sup>2</sup> ; tiempos de contacto, ≥5 h), se logró la inactivación completa del MS2.
Woo et al. 2012 (85) Incluido en O` Heard et al. 2020 (37)	Laboratorio El objetivo de este estudio era investigar la eficiencia de	MS2	Se inocularon filtros con el virus por dos vías (gota y aerosol) utilizando tres medios de pulverización:	UV-C: 254 nm Irradiancia: 1 mW/cm <sup>2</sup> Distancia: 10 cm	La mayor eficiencia de inactivación fue de 5,8 log, observada para los aerosoles en agua desionizada con una

Estudio	Ámbito/objetivo	Patógeno	Inóculo y condiciones	Exposición a luz UV	Principales hallazgos
	inactivación de la irradiación con luz UV contra virus recogidos a través de diferentes modos de transmisión en diversas condiciones ambientales.		agua desionizada, extracto de carne de vacuno y saliva artificial	Tiempo de exposición: 15-120 minutos Dosis: 9.000-72.000 (J/m <sup>2</sup> )	intensidad de luz UV de 1,0 mW/cm <sup>2</sup> durante un tiempo de exposición de 30 min. La eficiencia de inactivación en las muestras inoculadas con gotas fue menor que en las muestras con aerosoles que contenían MS2.

