

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

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

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

Health Technologies Assessment
Reports

AETS-ISCIH

INFORMES, ESTUDIOS E INVESTIGACIÓN



Revisión bibliográfica sobre eficacia y seguridad de la luz ultravioleta y ozono para la desinfección de superficies. 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:

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. Agencia de Evaluación de Tecnologías Sanitarias (AETS) - Instituto de Salud Carlos III, Ministerio de Ciencia e Innovación. 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
1. Introducción	15
1.1. Luz Ultravioleta	15
1.2. Ozono	17
2. Objetivos	20
2.1. Objetivo general	20
2.2. Alcance	20
3. Metodología	21
3.1. Criterios de selección de estudios	21
3.2. Fuentes de información y estrategia de búsqueda	22
3.3. Selección de estudios	23
3.4. Extracción de datos	23
3.5. Síntesis de los datos	23
4. Resultados	24
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	34
5. Discusión	42
6. Conclusiones	47
Referencias	48
Anexos	53
Anexo 1. Estrategia de búsqueda	53
Anexo 2. Características de los estudios incluidos	56

Índice de tablas

Tabla 1. 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.....	26
Tabla 2. Comparación de las reducciones UFC o UFP (log10) 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.....	27
Tabla 3. Concentración media de virus de la gripe en mascarilla tras desinfección con UV-C	28
Tabla 4. Eficacia viricida de desinfectantes y radiación ultravioleta sobre Influenza, VRS y SARS-CoV.....	29
Tabla 5. Reducción vírica tras la exposición a UV-C.....	30
Tabla 6. Susceptibilidad a la radiación UV (valor Z) a una humedad relativa del 50%.....	31
Tabla 7. Reducción logarítmica de los principales patógenos hospitalarios tras la desinfección con un dispositivo PX-UV.....	32
Tabla 8. Dosis de UV necesarias para la reducción viral del 90% y 99% de cuatro tipos de virus.....	33
Tabla 9. 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.	35
Tabla 10. Virus susceptibles al gas ozono + humedad alta (con tasas de inactivación superiores a 3 Log 10 Inactivación).....	37

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
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	Middle East respiratory syndrome
MERS-CoV	Middle East respiratory syndrome coronavirus
NR	Norovirus
NVM	Norovirus Murino
PA	Presión atmosférica
PX-UV	Luz ultravioleta con lámpara de Xenón
RV	Rinovirus
SARM	Staphylococcus aureus resistente a la meticilina
SARM	Staphylococcus aureus resistente a la meticilina
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 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. Ninguno de estos estudios analiza la eficacia de la desinfección en el SARS-CoV-2. Para analizar la eficacia de la radiación UV se han incluido 8 estudios primarios y un informe de evaluación de tecnologías sanitarias. Solo un estudio evaluaba la eficacia de la radiación en el ámbito hospitalario. Este estudio realizó un análisis de la eficacia de la radiación UV en la desinfección de 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 estos estudios indicaban que la radiación UV disminuía la carga vírica de las mascarillas, pero esta reducción podría no ser suficiente para lograr la desinfección. Por otro lado, la reducción de patógenos depende del tipo de patógeno y del diseño y material de las mascarillas. Por último, se han incluido cinco estudios que estudian a escala de laboratorio la eficacia de la radiación UV en la desinfección de distintos patógenos, entre los que se incluyen SARS-CoV y MERS-CoV. En todos estos estudios se concluye que la UV sería eficaz en la reducción de patógenos, aunque sería más efectiva para la desinfección de bacterias que para virus.

Se han incluido 6 estudios que analiza 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 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

No existe evidencia sobre la eficacia y seguridad de la desinfección de SARS-CoV-2 con dispositivos de radiación con luz ultravioleta u ozono. La evidencia disponible sugiere que ambos dispositivos pueden reducir la población de virus de una superficie, sin embargo, se desconoce si esa reducción es suficiente para conseguir la desinfección.

Ambos 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.

SUMMARY

Objective

The aims of this systematic review is to analyze available information about effectiveness and safety of ultraviolet (UV) light and ozone devise 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 allowed to include 15 studies on the effectiveness of ultraviolet light and ozone in the disinfection of viruses. None of these studies analyze the efficacy of disinfection in SARS-CoV-2. Eight primary studies and one health technology assessment report have been included to analyze the efficacy of UV radiation. Only one study evaluated the effectiveness of radiation in the hospital setting. This study conducted an analysis of the effectiveness of UV radiation in disinfecting rooms in a pediatric hospital and concluded that this type of device can reduce the incidence of upper respiratory tract infections in children. Two of the included studies analyzed the efficacy of UV radiation for disinfection and reuse of N95 masks. The results of these studies indicated that UV radiation decreased the viral load of the masks, but this reduction may not be sufficient to achieve disinfection. On the other hand, the reduction of pathogens depends on the type of pathogen and the design and material of the masks. Finally, five studies have been included that study at laboratory scale the effectiveness of UV radiation in disinfecting different pathogens, including SARS-CoV and MERS-CoV. All these studies conclude that UV would be effective in reducing pathogens, although it would be more effective for disinfecting bacteria than viruses.

Six 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

There is no evidence of the efficacy and safety of disinfecting SARS-CoV-2 with ultraviolet light or ozone devices. The available evidence suggests that both devices can reduce the virus population of a surface, however, it is not known if this reduction is sufficient to achieve disinfection.

Both devices pose health risks, which can cause eye damage, skin damage or respiratory tract irritation. In both cases, the use of the devices must be controlled and the personnel using the devices must be professionally trained in the use of these devices and must be properly equipped to minimize the risk of exposure.

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 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 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 los 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 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 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/m² 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/m². 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/m².

Actualmente, se está trabajando en una especificación UNE 0068 sobre los "Requisitos de seguridad para aparatos UV-C utilizados para la desinfección del aire de locales y superficies que será publicada próximamente (11).

1.2.Ozono

El ozono (O₃) es un gas de olor acre y generalmente incoloro que se origina a partir del gas oxígeno (O₂) al exponerse a un campo eléctrico. Cuando esto ocurre, el O₂ se carga eléctricamente, rompiéndose el enlace entre los átomos y reaccionando cada uno de estos con otra molécula de oxígeno, formándose así O₃ 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/m³ 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 (oxidante) 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 u 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.
- Estudios Pre-print sin revisión por pares.
- 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.

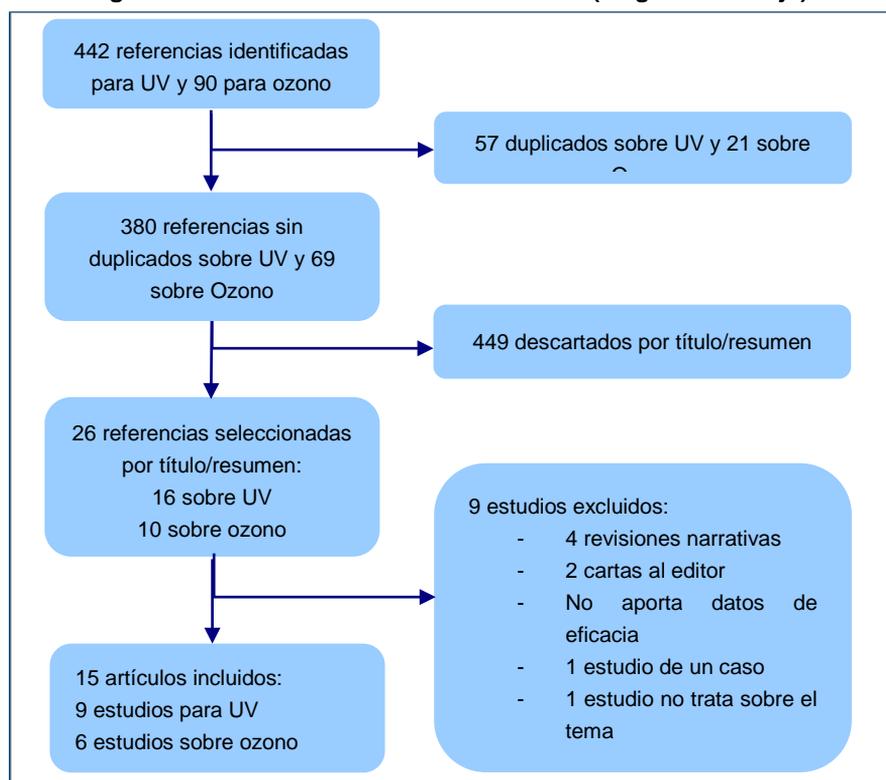
4. Resultados

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)



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

Eficacia de la Luz Ultravioleta para la desinfección de virus

Se han identificado 11 estudios que analizan la eficacia de la luz ultravioleta en la desinfección de virus. Sólo uno de estos estudios se realiza en ámbito hospitalario (14), el resto de estudios se realizan a escala de laboratorio (1, 15-20). En el anexo 3 se recogen las principales características y conclusiones de estos estudios.

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 1)(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 de 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 1. 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 (19, 20).

Cadnum et al (19) 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 2).

Tabla 2. Comparación de las reducciones UFC o UFP (log10) 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 ₁₀ 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 reducciones 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 (20) . 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 (≥ 3 log). Por otro lado, tanto las piezas 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 (20). 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 (20).

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 (20).

Tabla 3. Concentración media de virus de la gripe en mascarilla tras desinfección con UV-C

	Agente contaminante	
	Mucina	Aceite sintético
Parte mascarilla	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 (20).

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, 15-18).

El objetivo del estudio de Ansaldi et al (15) 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 en el aire, como influenza gripe y el virus respiratorio sincitial (VRS).

Los resultados de Ansaldi et al (15), reflejados en la Tabla 4, 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 (15).

Tabla 4. 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
Ácido Peracético 0.035%	*	30 min	*	30 min	*	30 min
Etanol 70%	2 min	30 min	*	30 min	*	30 min
Hipoclorito sódico 0,01%	30 min	30 min	30 min	30 min	30 min	30 min
Hipoclorito sódico 0,05%	30 min	30 min	1 min	2 min	1 min	30 min
Hipoclorito sódico 0,1%	*	30 min	1 min	1 min	*	30 min
Digluconato de clorhexidina 1%	30 min	30 min	1 min	30 min	*	30 min
2 benzil clorofenol 2%	*			2 min	*	2 min
Cloruro de benzalconio	30 min	30 min	1 min	30 min	5 min	30 min
Radiación UV	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 (16) 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 5) 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 log₁₀ en 5 minutos y 6,11 log₁₀ 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 log₁₀.

Tabla 5. Reducción vírica tras la exposición a UV-C

Tiempo de exposición	Reducción Log ₁₀	
	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 Surfaced durante los brotes de MERS puede prevenir la propagación nosocomial del virus y proteger al personal en el proceso (16).

Walker et al (18) analiza 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 susceptibilidad de los aerosoles virales expuestos a varias dosis de radiación UV y a niveles predeterminados de RH.

Los resultados de susceptibilidad vírica a la radiación UV-C con una humedad relativa del 50% (Tabla 6), 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 μW s/cm². El adenovirus mostró una tasa de inactivación similar a la de MS2, aproximadamente el 33% del adenovirus sobrevivió después de la exposición a 2608 μW s/cm². 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 μW s/cm² UV-C.

Los resultados de Walker et al (18) 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 6. Susceptibilidad a la radiación UV (valor Z) a una humedad relativa del 50%

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

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 (17) 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 7). 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 ≥ 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 7. 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 (liquid)	5	1	4.13E+04	2.17E+04	1.54
Vaccinia virus (liquid)	5	1	4.98E+06	1.63E+05	1.38
IBDV (liquid)	5	1	2.41E+07	3.33E+06	0.86
VSV (dried)	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: Middle East respiratory syndrome coronavirus. Min: minutos. Log: logarítmica. VSV: vesicular stomatitis virus

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

	Dosis de UV (1 mJ/cm²)			
	dsARN (phi 6)	ssARN (MS2)	dsADN (T7)	ssADN (Phi X714)
Reducción viral del 90%	7,70 a 8,13)	(1,32 a 3,20)	3,80 a 5,36	2,50 ^a 4,47)
Reducción viral del 99%	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 cm²/mJ y para una humedad relativa del 55% el valor K fue de 2,3 a 0,83 cm²/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 ICUV. 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 el ARN inducido por la UV.

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 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 (21) tenía como objetivo investigar el efecto de la baja concentración de ozono en cuatro modelos bacteriófagos (ϕ 6, ϕ 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 a 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 9. 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.

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 requería 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 min 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 (21).

El estudio de Guo et al (22) tiene como objetivo evaluar la eficacia de la desinfección de la 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 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 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 KMnO₄ y 16 ml de formalina/8 g de KMnO₄ durante 1 hora respecto al grupo control sin desinfección, tras una hora de aplicación. No se observaron diferencias significativas entre la aplicación de 8 ml de formalina/4 g de KMnO₄ o 16 ml de formalina/8 g de KMnO₄ ni en el tiempo de exposición de 1 2 y 4 horas.

Los autores (22) 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 (23) 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 ser utilizado 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 a 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), Influenza 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 HSV, Influenza y RV de 2 log₁₀.

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 log₁₀.

Tabla 10. Virus susceptibles al gas ozono + humedad alta (con tasas de inactivación superiores a 3 Log₁₀ Inactivación)

	Importancia	Membrana + o -
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 enterico	No
Rinovirus tipo 1 ^a y 14	Virus resfriado comun	No
Calicivirus felino	Sustituto de norovirus	No

El estudio de Hudson et al (24) 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 mediante 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 (25) 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 seg., 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 seg., 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/m³, 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/m³, respectivamente. Los resultados sugerían que los fagos T7 y MS2 son más resistentes al ozono que los fagos phi X174 y phi 6.

Los autores (25) concluyen que la fracción de supervivencia de los virus aéreos disminuyó exponencialmente con el aumento de la dosis de ozono. El virus requirió dosis de ozono de 0.34-1.98 y 0.80- 4,19 min-mg/m³ 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 con envoltura 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 (26) 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 MS2 y 100 minutos para 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 (25) 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 (26) concluyen que la desinfección de virus en superficies podría realizarse para tiempos de exposición largos y bajos niveles de ozono.

Seguridad del Ozono para la desinfección de virus

No se ha 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 tóxica para la vida acuática con efectos duraderos, 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 e respiratoria, 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 secundario para los seres humanos (25). Uno de los efectos adversos que se puede producir por la utilización de estos dispositivos es a vasoconstricción periférica que se puede

producir por la inhalación de ozono, que puede ser especialmente grave en ancianos hospitalizados o residentes en instituciones (25). Para minimizar los riesgos es conveniente desinfectar las superficies en una cámara, es decir, en un espacio confinado, en lugar de un espacio abierto, para prevenir la exposición al ozono (25). En caso de no poderse realizar sería necesario ventilar la habitación.

Debido a estos efectos secundarios, los valores de exposición de ozono se encuentran regulados. Así la norma UNE 400-201-94 establece un valor inferior a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (27). El Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo informa de unos valores máximos de ozono de $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para un tiempo de 8 horas o de $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para un tiempo máximo de 2 horas (28).

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 tendría que estar equipados con protección respiratoria (13).

5. Discusión

La revisión bibliográfica ha permitido identificar 8 estudios sobre eficacia de radiación UV y 6 estudios sobre la eficacia de ozono para la desinfección de virus. Ninguno de ellos estudia específicamente el virus SARS-CoV-2 pero la mayoría analiza algún tipo de coronavirus. 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 laboratorios.

Los resultados de los estudios indican que la desinfección con dispositivos de UV-C es relativamente fácil y rápida. Se ha observado que serían más eficaces que muchos de los desinfectantes utilizados (15) y la desinfección con calor seco (19).

El estudio de Pavia et al concluye que los dispositivos de UV-C puede 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.

Sin embargo, la eficacia de la desinfección de la radiación UV es menor para virus que para bacterias. En el estudio de Cadnum et al (19) se indica que, aunque se logró una reducción de la carga vírica en las mascarillas desinfectadas con UV-C, está sería inferior a $3 \log_{10}$ por lo que no habrían cumplido el requisito establecido para la descontaminación (19). Los resultados de los estudios que analizan la eficacia de la radiación UV en diferentes tipos de virus indican que los coronavirus son más sensibles a los agentes desinfectantes.

La radiación con UV-C presenta una serie de limitaciones. El patógeno ha de estar expuesto directamente a la radiación para ser eliminado, si se encuentra bajo el agua o bajo otra superficie no será eliminado. En el estudio de Cadnum et al (19) se observó que la eficacia en el interior de las mascarillas de la UV-C era menor que en la parte exterior. También observó variación en la reducción de la carga del patógeno en función del tipo mascarilla desinfectadas. El estudio de Mills et al (20) indicó que la eficacia de la desinfección UV-C variaba en función de la parte de la mascarilla expuesta, observando que las correas tenían una mayor carga viral que las piezas faciales.

Un informe publicado por Applied Research Associates reseñó que la evidencia disponible sobre la eficacia de la descontaminación de las

mascarillas N95 están basado en la gripe (29). 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 (29).

Por otro lado, muchos dispositivos de 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 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 (30). La radiación UV-C puede causar eritema y daños oculares. En este último caso, los problemas oculares pueden persistir tras dos años de la exposición (31). Por otro lado, la utilización de lámparas de UV-C pueden provocar la formación de ozono, que puede causar síntomas asociados al tracto respiratorio, sobre todo en las personas más sensibles (31). 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 UV-C sería más efectiva como adyuvante de la desinfección manual de superficies y no como reemplazo de esta (16). 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 la radiación UV-C no puede llegar al patógeno, éste no será desinfectado, pero producirá una reducción sustancial del número total de patógenos y por tanto del riesgo de transmisión (32). En estos casos, la radiación UV-C podría actuar como una barrera secundaria para la limpieza especialmente en situaciones apresuradas (32).

El CIE publicó en mayo de 2020 una nota de posicionamiento (3) donde señalan que los productos que emiten UV-C son extremadamente útiles para desinfectar el aire y las superficies, o para esterilizar el agua. También indican que tanto CIE como la OMS desaconsejan el uso de lámparas de desinfección UV para desinfectar las manos u otras áreas de

la piel ((33) 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* (34). Las mediciones apropiadas de 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 UV-C, los fagos phi6 análogos a los coronavirus serían más susceptibles al ozono que los otros fagos.

También se ha visto un efecto importante de la humedad relativa, observándose mayor eficacia del ozono como desinfectante a mayor humedad relativa(21, 23-26). Esto podría estar relacionado con que el O₃ reacciona con el agua formando radicales de libres de O₂·, HO₂· y NO que aumenta 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 (35), 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 µg/m³ para un tiempo de 8 horas o de 0,4 µg/m³ para un tiempo inferior a 2 horas (28). 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 equipo de los hospitales (36). Tras la desinfección con ozono se ha de

ventilar la habitación para lograr una concentración de ozono de valores no peligrosos.

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.

Además, una serie de sociedades e instituciones científicas tanto españolas como de América Latina (37) 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 procedimiento 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 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 adecuado 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 (37). Asimismo, no existe ningún producto biocida con actividad viricida que esté autorizado para su uso por nebulización sobre las personas (38) 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 (38). El ministerio de Sanidad publica una lista con los productos evaluados y registrados para los que se ha demostrado su eficacia viricida (39).

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 (40). 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 (38).

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 el ozono para reducir la contaminación ambiental por coronavirus (41). Por otro lado, un informe de Evaluación de Tecnologías Sanitarias sobre tecnologías de desinfección en instalaciones médicas (36) 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. Aunque los resultados disponibles sugieren que reduce la carga vírica podría no ser suficiente para lograr la desinfección. 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 de coronavirus. Ambos 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

No existe evidencia sobre la eficacia y seguridad de la desinfección de SARS-CoV-2 con dispositivos de radiación con ultravioleta u ozono. La evidencia disponible sugiere que ambos dispositivos pueden reducir la población de virus de una superficie, sin embargo, se desconoce si esa reducción es suficiente para conseguir la desinfección.

Ambos dispositivos presentan riesgos para la salud. En el caso de la UV-C, se pueden producir daños en la piel o daños en el tejido ocular (fotoqueratitis). El uso de los dispositivos de UV puede provocar 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 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 ambos dispositivos.

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). [Available from: <https://www.aenor.com/>].
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. 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.
16. 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.
17. 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.
18. Walker CM, Ko G. Effect of ultraviolet germicidal irradiation on viral aerosols. *Environ Sci Technol.* 2007;41(15):5460-5.
19. 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.

- 20.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.
- 21.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.
- 22.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.
- 23.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.
- 24.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.
- 25.Tseng C-C, Li C-S. Ozone for Inactivation of Aerosolized Bacteriophages. *Aerosol Science and Technology*. 2006;40(9):683-9.
- 26.Tseng C, Li C. Inactivation of surface viruses by gaseous ozone. *J Environ Health*. 2008;70(10):56-62.
- 27.Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). UNE 400-201-94 [Texto impreso] : generadores de ozono: tratamiento de aire : seguridad química: AENOR; 1994.
- 28.Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). Límites de exposición profesional para agentes químicos en España. 2019. Madrid; 2019.
- 29.Applied Research Associates Inc. (ARA). Decontamination and Reuse of N95 Filtering Facepiece Respirators (FFRs). 2020.
- 30.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>].

31. 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.

32. 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>].

33. 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>].

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

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

36. 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.

37. Sociedad Iberoamericana de Salud Ambiental, Sociedad Española de Sanidad Ambiental, Red de Centros de Información y Asesoría Toxicológica de Centroamérica, et al. 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>.

38. 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].

39. Round table discussion on infection in the newborn period: Editorial. Journal of Pediatrics. 1947;30(6):696-715.

40. 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>].

41. 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.

Anexos

Anexo 1. Estrategia de búsqueda

PUBMED (FECHA DE BÚSQUDA: 06/05/2020)		
N	Búsqueda	Resultado
#24	#8 AND #17 AND #22	367
#23	#8 AND #21 AND #22	94
#22	((coronavirus[MeSH Terms]) OR (((covid-19[Text Word]) OR (sars cov 2[Text Word])) OR (coronavirus*[Text Word]))) OR (virus*[Text Word])	858,807
#21	(Ozone[MeSH Terms]) OR (ozon*[Text Word])	24,769
#20	ozon*[Text Word]	24,769
#19	Ozone[MeSH Terms]	14,588
#18	#15 OR #17	139,377
#17	((Ultraviolet[Text Word] OR UV)[Text Word]) AND ((Ray[Text Word] OR radiation[Text Word] OR Light)[Text Word])	139,377
#16	ultraviolet light[MeSH Terms]	76,959
#15	#9 OR #10 OR #11 OR #12 OR #13	11,447,552
#14	(((((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
#13	space*[Text Word]	456,082
#12	surface*[Text Word]	1,277,946
#11	air[Text Word]	313,533
#10	#1 OR #7	217,864
#9	#2 OR #3 OR #4 OR #5 OR #6	102,162
#8	(sterilisation[Text Word]) OR (Steriliz*[Text Word])	48,025
#7	sanitiz*[Text Word]	2,452
#6	sanitation[Text Word]	15,17
#5	Disinfect*[Text Word]	43,809
#4	((disinfection[MeSH Terms]) OR (sterilization[MeSH Terms])) OR (infection control[MeSH Terms]) OR (sanitation[MeSH Terms])	169,079
#3	#8 AND #17 AND #22	367

#2	#8 AND #21 AND #22	94
#1	((coronavirus[MeSH Terms]) OR (((covid-19[Text Word]) OR (sars cov 2[Text Word])) OR (coronavirus*[Text Word]))) OR (virus*[Text Word]))	858,807

EMBASE (FECHA DE BÚSQUEDA: 06/05/2020)		
N	Búsqueda	Resultado
#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

Cochrane Library (FECHA DE BÚSQUEDA: 06/05/2020)		
N	Búsqueda	Resultado
#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
Ansaldo (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 envueltos en el aire, como el de la gripe y RSV	Desinfectantes químicos Radiación UV (40mW/cm ²). No se especificó tipo de dispositivo	SARS-CoV Influenza RSV	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. 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
Bedell (2016)	EEUU	Laboratorio	Analizar la eficacia de la desinfección de MERS-CoV con un sistema de desinfección automatizada con UV-C con tres emisores de 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 Surfacide durante los brotes de MERS puede prevenir la propagación nosocomial del virus y proteger al personal en el proceso.
Cadnum (2020)	EEUU	Hospitalario.	Analizar la susceptibilidad de los bacteriófagos Phi6 and MS2 a UV-C Eficacia de tres dispositivos para la	Caja desinfección UV-C Dispositivo UV-C de descontaminación de habitaciones	Bacteriófagos Phi6 (como análogo a coronavirus) y MS2	La 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	Cabina de Desinfección de Alto Nivel de Uso Múltiple Calor seco	SARM	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
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 en las habitaciones de los hospitales utilizando ventilación pasiva.	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
Guo (2015)	China	Laboratorio	Evaluar la eficacia de la desinfección de 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 (Kz-x-dL1 y LK/CXD)	HVB	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.

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 calicivirus felino (VCF) 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 requiere una descontaminación eficiente de las habitaciones
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 la desinfección y reutilización de mascarillas N95. La implementación de un método de irradiación germicida de UV requerirá una cuidadosa consideración del modelo de FFR, el tipo de material y el diseño
Pavia et al (2018)	EEUU	Hospitalario	Examinar el efecto de la UV-C sobre la incidencia de las infecciones virales	Dispositivo de desinfección UV-C	IVRA	la UV-C puede ayudar a reducir las tasas de incidencia de infecciones virales

Estudio (año)	Lugar	Ámbito	Objetivo	Tecnologías analizadas	Patógenos analizados	Conclusiones
			de las vías respiratorias altas en una población pediátrica			
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 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 PX-UV contra cada uno de los estos organismos indicaron que la desinfección con PX-UV 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 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 (2007)	Taiwan	Laboratorio	determinar la efectividad de la para la inactivación de virus en superficies	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 de un tipo de ácido nucleico del virus.

Estudio (año)	Lugar	Ámbito	Objetivo	Tecnologías analizadas	Patógenos analizados	Conclusiones
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 del ozono es una técnica prometedora para la contaminación de los virus de la superficie
Walker (2007)	EEUU-Korea	Laboratorio	Analizar el efecto de la nebulización y el muestreo en aerosoles virales respiratorios, así como la susceptibilidad a la radicación UV de tres aerosoles virales y a la humedad relativa	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 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.

IGUV: Irradiación Germicida de UV; IVRA: infecciones virales de las vías respiratorias altas; NVM. Norovirus Murino; RSV: virus respiratorio sincitial ; SARM: *Staphylococcus aureus* resistente a la meticilina; VEV: Virus estomatitis vesicular; VHB; Virus Hepatitis B, VHM: virus de la hepatitis murina; VFA: Virus fiebre amarilla.

