

Recopilación de estudios de seguridad y eficacia germicida de la luz UVC lejana (Far-UVC)



ESTUDIOS REALIZADOS POR



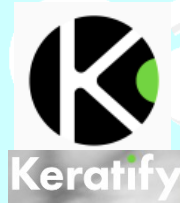
COLUMBIA UNIVERSITY
IRVING MEDICAL CENTER



HIROSHIMA UNIVERSITY



USHIO



UDS Université de Sherbrooke



Aarhus University Hospital

ESTUDIOS PUBLICADOS EN



ResearchGate

scientific reports



PLOS ONE

Wiley Online Library

Photochemistry
AND Photobiology

ELSEVIER



medRxiv
THE PREPRINT SERVER FOR HEALTH SCIENCES



PMC PubMed Central®

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades transmitidas por vía aérea han sido un problema de salud pública mucho antes de la actual pandemia de COVID-19 o del Monkeypox. Una de las enfermedades de transmisión aérea más destacadas y mortales en todo el mundo es la tuberculosis, cuya propagación a través de gotitas en el aire quedó demostrada en la década de 1950. Otras enfermedades transmitidas por vía aérea son el sarampión, la viruela, la gripe, el resfriado común y el propio COVID-19.

Mitigar el riesgo de transmisión de enfermedades por vía aérea es crucial para los objetivos de salud pública actuales y futuros.

La vacunación es un medio eficaz para prevenir la infección de muchas enfermedades capaces de propagarse por vía aérea; sin embargo, el desarrollo, las pruebas, la producción y la distribución de las vacunas requieren una inversión significativa de tiempo y capital. **La radiación ultravioleta es una estrategia establecida y viable que puede complementar la vacunación y otros enfoques de ingeniería para prevenir la transmisión de enfermedades por vía aérea.** Debido a su modo de acción no dirigido, la radiación ultravioleta es eficaz contra la mayoría de los patógenos transmitidos por el aire y es probable que sea eficaz contra los nuevos virus emergentes. Lo más importante es que los rayos ultravioleta se diferencian de los enfoques más comunes para prevenir la transmisión por el aire -confinamientos, uso de máscaras y vacunación que pueden ser elecciones personales- en que **no requieren decisiones activas por parte del público en general.**

Un nuevo concepto en el uso de la radiación ultravioleta para la desinfección utiliza el rango de longitudes de onda de 200-235 nm, a menudo denominado UVC lejano o Far-UVC (en inglés). **Las investigaciones han demostrado que estas longitudes de onda son al menos tan efectivas para la inactivación microbiana como la radiación UV convencional de 254 nm, pero sin los riesgos para la salud asociados.**

La principal conclusión de los estudios es que **el UVC lejano puede utilizarse directamente en lugares interiores ocupados para desinfectar continuamente el aire y las superficies expuestas sin dañar a sus ocupantes mientras desinfecta.**

La Asociación Internacional de Ultravioleta (IUVA) publicó en abril de 2021 un "libro blanco" titulado " **Far UV-C Radiation: Current State-of Knowledge** ", revisión científica de la tecnología UVC lejana y del estado de la investigación que presenta las principales conclusiones obtenidas mediante el análisis de la literatura publicada y la recopilación de conocimientos de expertos. Analiza, entre otros aspectos, las fuentes de la UVC lejana, compara su mayor efectividad con la UVC 254nm, analiza los principales aspectos de seguridad de la exposición humana a la UVC lejana (y propone su incremento) y la potencial producción de ozono de alguna de las lámparas.

Link al documento de la IUVA: <https://bit.ly/B4H0102>

Link al webinar de la IUVA: <https://bit.ly/WebIUVA>

El orden cronológico de los estudios es del más novedoso al más antiguo.

[33] ESTUDIO DE SEGURIDAD

Observación de la seguridad ocular de los trabajadores durante un año y estimación de la eficacia de la inactivación de microorganismos en la sala irradiada con lámparas ultravioletas C de 222 nm.

Título: *One-Year Ocular Safety Observation of Workers and Estimations of Microorganism Inactivation Efficacy in the Room Irradiated with 222-Nm far Ultraviolet-C Lamps.*

Autores: Kazunobu Sugihara, Sachiko Kaidzu, Masahiro Sasaki, Sho Ichioka, Yuji Takayanagi, Hiroshi Shimizu, Ichiya Sano, Katsunori Hara, Masaki Tanito

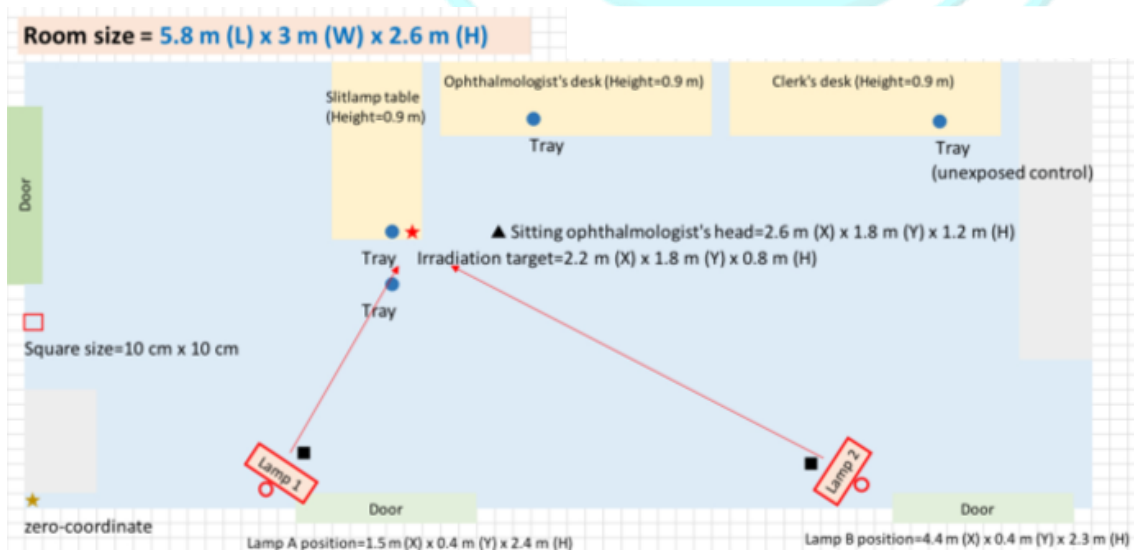
Fecha de primera publicación: Septiembre 2022.

Link: <https://bit.ly/B4H0134>

Se instalaron dos unidades de lámparas excimer germicidas de criptón en la sala de examen de un departamento de oftalmología.

La dosis de irradiación se fijó para que no superara el antiguo (es decir, antes de 2022) valor límite umbral (TLV) (22 mJ/cm²/8 horas) recomendado por la ACGIH.

Sección 1: Los ojos y los párpados de los 6 oftalmólogos (5 llevaban gafas para la corrección de la miopía) que trabajaron en la sala durante una **estancia media de 6,7 horas/semana fueron observados prospectivamente durante 12 meses**. Los exámenes con lámpara de hendidura no revelaron eventos adversos agudos como erosión corneal, hiperemia conjuntival, eritema de la piel del párpado ni eventos adversos crónicos como pterigión, catarata o tumor del párpado. La agudeza visual, el error de refracción y la densidad de células endoteliales de la córnea no se modificaron durante el estudio. Una vez finalizado el periodo de 12 meses, ninguno de los cinco sujetos que continuaron trabajando en la sala informó de ninguno de los posibles efectos secundarios oculares a lo largo de un año adicional.



Sección 2: La irradiación de las muestras colocadas en la mesa o en el suelo utilizando los mismos dispositivos de la sala (5-7,5 mJ/cm²) se asoció con una inhibición de >99% del *fago φX174* y >90% de *S. aureus*.

En conclusión, no se observaron efectos agudos o crónicos sobre la salud de los participantes humanos en un entorno clínico de irradiación germicida ultravioleta en sala completa mediante unidades de lámparas de 222 nm y se determinó una alta eficacia en la desactivación de microorganismos en el mismo entorno.

[32] ESTUDIO DE EFICACIA GERMICIDA

Efecto antimicrobiano de las lámparas de excímero de 222 nm filtradas en la sala de espera de un hospital.

Título: *Anti-microbial effect of filtered 222nm excimer lamps in a hospital waiting area.*

Autores: Jacob Thyrsted, Søren Helbo Skaarup, Andreas Fløe Hvass, Sara Moeslund Joensen, Stine Y. Nielsen, Elisabeth Bendstrup, Pernille Hauschildt, Christian K. Holm

Fecha de publicación: *En preimpresión.*

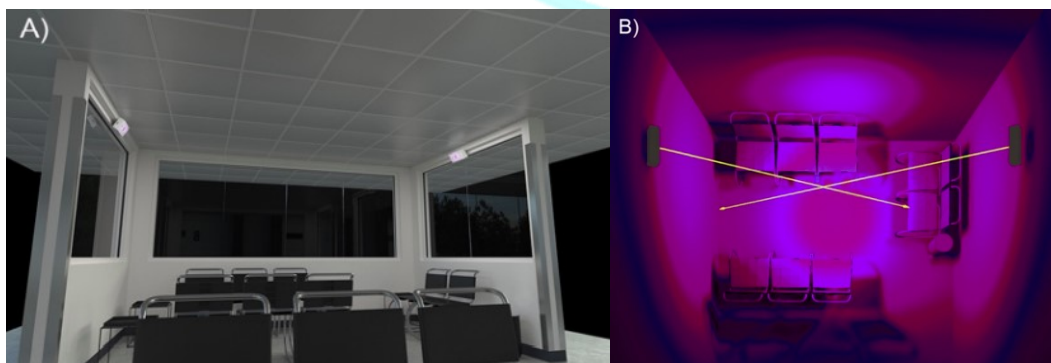
Link: <https://bit.ly/B4H0101>

Antecedentes: Las infecciones adquiridas en los hospitales constituyen un reto considerable para los pacientes vulnerables. La luz ultravioleta basada en la excitación del mercurio emite luz a 254 nm y tiene efectos antimicrobianos bien establecidos.

Estas lámparas emiten luz con un pico de intensidad a una longitud de onda de 222 nm y se ha demostrado que tienen amplios efectos bactericidas y viricidas, incluyendo la inactivación eficiente del SARS-CoV2.

En este estudio nos propusimos evaluar la eficacia antimicrobiana de las lámparas de excímero de 222 nm filtradas en un entorno real en una clínica pulmonar ambulatoria.

Método: Se instalaron lámparas de excímero KrCl 222nm filtradas (lámparas UV222) en una sala de espera densamente poblada en la zona de espera de pacientes externos del departamento de Enfermedades Respiratorias y Alergia del Hospital Universitario de Aarhus, Dinamarca.



Se tomaron muestras de las superficies de los muebles y se analizó la carga bacteriana en un estudio longitudinal de intervención de un solo brazo con y sin exposición a la luz UVC filtrada de 222 nm.

Resultados: La exposición a la luz UVC filtrada de 222 nm redujo significativamente el número de unidades formadoras de colonias y los parches con alta densidad de bacterias.

Conclusión: La luz UVC filtrada de 222 nm es altamente antimicrobiana en un entorno clínico real, reduciendo la carga bacteriana y erradicando las especies de bacterias clínicamente preocupantes. La luz UVC filtrada de 222 nm tiene el potencial de convertirse en una parte importante de las medidas antimicrobianas actuales y futuras en la clínica.

[31] ESTUDIO DE SEGURIDAD

Dosis oculares y faciales de UVC lejano procedentes de instalaciones de UVC lejano de 222 nm montadas en el techo.

Título original: *Ocular and Facial Far-UVC Doses from Ceiling-Mounted 222 nm Far-UVC Fixtures.*

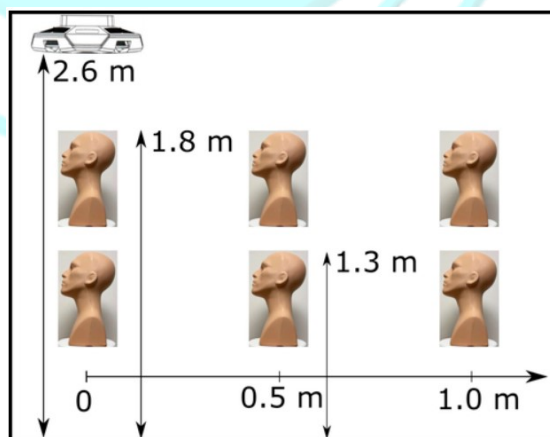
Autores: Michael A. Duncan, David Welch, Igor Shuryak, David J. Brenner

Fecha de Publicación: Julio de 2022.

Link: <https://bit.ly/B4H0103>

La radiación UVC lejana, definida en este documento como radiación ultravioleta (UV) con longitudes de onda de 200 a 235 nm, es una herramienta prometedora para ayudar a prevenir la propagación de enfermedades. La ventaja única de la tecnología UVC lejana con respecto a la irradiación germicida UV tradicional radica en el potencial de la **aplicación directa de UVC lejana en espacios ocupados**, ya que las dosis antimicrobianas de UVC lejana están significativamente por debajo de los límites de exposición diaria segura recomendados.

En este estudio se utilizó un aparato de UVC lejano montado en el techo que emite a 222 nm para irradiar directamente un espacio interior y luego se evaluaron las dosis recibidas en un maniquí. Se colocó una película sensible a la radiación en la cabeza, la nariz, el labio y los ojos del maniquí, y se determinó la dosis de exposición equivalente a 8 horas. Las variables examinadas incluyeron la altura del maniquí (posición sentada o de pie), el desplazamiento del maniquí desde la posición directamente inferior al dispositivo, la inclinación del maniquí, la adición de gafas, la adición de pelo y los diferentes tamaños de las características anatómicas.



Es importante destacar que, en la posición del maniquí con la dosis más alta para los ojos, la dosis media para los ojos fue sólo el 5,8% de la dosis máxima medida directamente. **Estos resultados muestran que las dosis que experimentaría un ser**

humano de una instalación de UVC lejano en interiores son, de hecho, mucho más bajas que la dosis máxima medida directamente.

[30] ESTUDIO DE SEGURIDAD

Exposición de modelos de piel humana a lámparas de excímeros de KrCl: El impacto del filtrado óptico.

Título original: *Exposure of Human Skin Models to KrCl Excimer Lamps: The Impact of Optical Filtering.*

Autores: Manuela Buonanno, David Welch, David J. Brenner

Fecha de Publicación: Mayo de 2022.

Link: <https://bit.ly/B4H0104>

La radiación UVC lejana es una tecnología prometedora que puede ser eficaz para eliminar microbios transportados por el aire, como los coronavirus y la gripe, y ser mínimamente peligrosa para la piel y los ojos.

Estudios anteriores sobre los riesgos para la salud de la UVC lejana han empleado una lámpara de excimer de cloruro de criptón, que emite principalmente a 222 nm, complementada con un filtro óptico para eliminar las emisiones de mayor longitud de onda inherentes a estas lámparas.

Este estudio explora los riesgos para la salud de las lámparas de KrCl comparando las lámparas de KrCl filtradas y no filtradas mediante cálculos de irradiación espectral efectiva y exposiciones cutáneas experimentales.

El análisis de las irradiancias efectivas mostró un notable aumento de la exposición permitida cuando se utiliza un filtro. Se midió la inducción de dímeros de ADN (CPD y 6-4PP) en modelos de piel humana expuestos a una gama de exposiciones radiantes de hasta 500 mJ/cm². En comparación con los tejidos expuestos de forma simulada, las lámparas de KrCl sin filtro indujeron un aumento estadísticamente significativo en la producción de ambas lesiones de ADN en todas las exposiciones radiantes estudiadas. Por el contrario, **las lámparas de KrCl filtradas no inducen un aumento de los niveles de dímeros en el actual límite de exposición diaria TLV para 222 nm (23 mJ cm⁻²).** **Este trabajo apoya el uso de filtros para las lámparas de excímero KrCl de UVC lejano cuando se utilizan para limitar la transmisión de enfermedades en lugares ocupados.**

El estudio subraya además la importancia de utilizar filtros ópticos con las lámparas Far-UVC de 222 nm para garantizar la seguridad

[29] ESTUDIO DE SEGURIDAD

No hay evidencia de cáncer de piel inducido u otras anomalías de la piel después de una exposición crónica a largo plazo (66 semanas) a la radiación UVC de 222 nm.

Título original: *No Evidence of Induced Skin Cancer or Other Skin Abnormalities after Long-Term (66 week) Chronic Exposure to 222-nm Far-UVC Radiation.*

Autores: David Welch, Norman J. Kleiman, Peter C. Arden, Christine L. Kuryla, Manuela Buonanno, Brian Ponnaiya, Xuefeng Wu, David J. Brenner

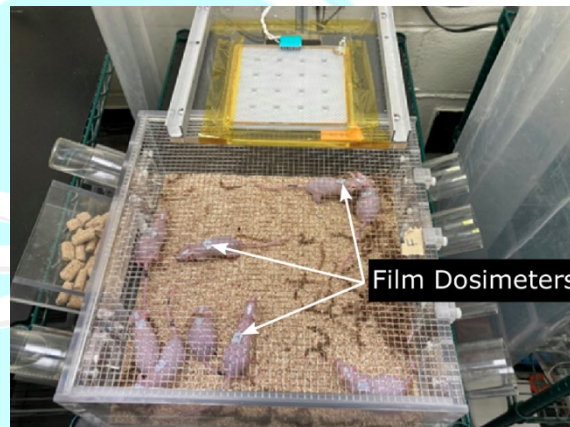
Fecha de Publicación: Mayo de 2022.

Link: <https://bit.ly/B4H0105>

La radiación UVC lejana, normalmente definida como 200-235 nm, tiene una eficacia antimicrobiana similar o mayor en comparación con la radiación germicida convencional de 254 nm.

Además, las consideraciones biofísicas de la interacción del UVC lejano con los tejidos, así como múltiples estudios de seguridad a corto plazo en modelos animales y en humanos, sugieren que la exposición al UVC lejano puede ser segura para los tejidos de la piel y los ojos.

Sin embargo, no se ha estudiado el **potencial de cáncer de piel tras una exposición crónica a largo plazo al UVC lejano**. En este trabajo se evaluaron los cambios cutáneos carcinogénicos inducidos por el UVC lejano y



otras anomalías dérmicas patológicas en **96 ratones sin pelo SKH-1** de ambos sexos que fueron **expuestos a dosis diarias** promedio en la piel dorsal de **400, 130 o 55 mJ/cm²** de radiación UVC lejana de 222 nm **durante 66 semanas, 5 días a la semana, 8 h al día**, así como en controles no expuestos tratados de forma similar.

No se observó ningún indicio de aumento del cáncer de piel, crecimientos cutáneos anormales o hallazgos patológicos cutáneos incidentales en los ratones expuestos a la UVC lejana. Además, no hubo cambios significativos en la morbilidad o la mortalidad. Los resultados de este estudio respaldan la seguridad a largo plazo de la exposición crónica a la radiación UVC lejana y, por tanto, su posible idoneidad como enfoque antimicrobiano práctico para reducir las cargas virales y bacterianas transmitidas por el aire en entornos interiores ocupados.

[28] ESTUDIO DE EFICACIA GERMICIDA

El UVC lejano (222 nm) inactiva eficazmente un patógeno transmitido por el aire en una cámara del tamaño de una habitación.

Título original: *Far-UVC (222 nm) efficiently inactivates an airborne pathogen in a room-sized chamber.*

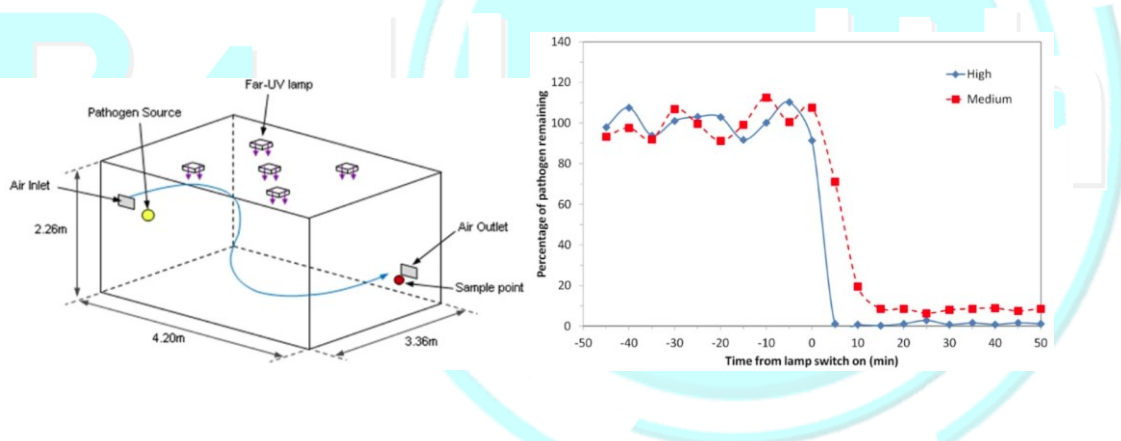
Autores: Ewan Eadie, Waseem Hiwar, Louise Fletcher, Emma Tidswell, Paul O'Mahoney, Manuela Buonanno, David Welch, Catherine S. Adamson, David J. Brenner, Catherine Noakes & Kenneth Wood

Fecha de publicación: Marzo de 2022.

Link: <https://go.nature.com/3C0VbAn>

Muchas enfermedades infecciosas, incluida la COVID-19, se transmiten por agentes patógenos en el aire. **Se necesitan medidas de control ambiental eficaces que no dependan del comportamiento humano.**

Las investigaciones realizadas han demostrado que cuando las lámparas de excímero de KrCl se filtran para eliminar las emisiones ultravioleta de mayor longitud de onda a 230nm no inducen reacciones agudas en la piel o los ojos.



Las lámparas de UVC lejana filtradas, mostraron una **reducción de las cargas de *Staphylococcus aureus* en estado estacionario del 98,4%, proporcionando 184 cambios de aire equivalentes por hora (eACH) adicionales. Esto hace que la tecnología sea ideal para salas y edificios que carecen de sistemas de ventilación mecánica.**

Los resultados de eficacia y eACH en este estudio se obtuvieron con lámparas que funcionaban dentro de los límites de exposición actuales de la ACGIH/IEC de 23 mJ/cm². Se espera que la eficacia y el eACH sean significativamente mayores cuando la ACGIH/IEC adopte los límites de exposición propuestos (20 veces más altos que los límites actuales). *Los límites actuales aprobados por la ACGIH (EE.UU) ascienden a 478 mJ/cm², mientras que, en Europa, la IEC los mantiene en los 23 mJ/cm².*

[27] ESTUDIO DE EFICACIA GERMICIDA

Tasas de inactivación del Coronavirus humano transmitido por el aire mediante dosis bajas de radiación UVC lejana de 222 nm

Título original: *Inactivation Rates for Airborne Human Coronavirus by Low Doses of 222 nm Far-UVC Radiation.*

Autores: David Welch, Manuela Buonanno, Andrew G. Buchan, Liang Yang, Kirk D. Atkinson, Igor Shuryak, and David J. Brenner

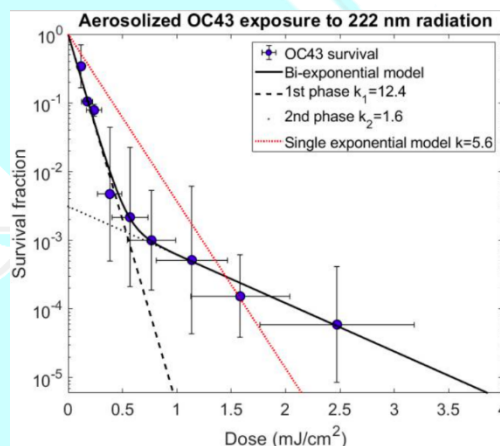
Fecha de publicación: Marzo de 2022.

Link: <https://bit.ly/B4H0106>

Nuestro trabajo de laboratorio anterior demostró la eficacia de la inactivación de los virus en aerosol con luz UVC de 222 nm, primero para el virus de la gripe A H1N1 en el aire^[5] y, más recientemente, para los coronavirus humanos 229E y OC43 en el aire^[12]. En el presente trabajo, (a) estudiamos un rango mucho más amplio de dosis de UVC lejano y (b) utilizamos un modelo computacional para generar estimaciones dosimétricas mejoradas.

Este estudio concluye que se necesita una dosis de UVC lejana mucho menor de lo que se pensaba para inactivar la gran mayoría de los patógenos aerotransportados en un ambiente de sala. El estudio utilizó el coronavirus humano OC43 (HCoV-OC43), que es un sustituto adecuado del SARS-CoV-2 con un tamaño físico y genómico comparable.

Estos nuevos resultados ofrecen más pruebas de la eficacia de la UVC lejana para inactivar los patógenos transportados por el aire.



En resumen, **estos nuevos resultados proporcionan un apoyo adicional a la sugerencia de que la UVC lejana puede ser una modalidad muy eficaz para reducir el nivel de patógenos en el aire en espacios públicos ocupados.** Los resultados sugieren que la reducción alcanzable de patógenos en el aire -con las bajas exposiciones al UVC lejano que son consistentes con los límites regulatorios actuales- será significativamente mayor que la estimada anteriormente

[26] ESTUDIO DE EFICACIA GERMICIDA

Inactivación UV del SARS-CoV-2 en el espectro UVC: KrCl Excimer, vapor de mercurio y fuentes de diodo emisor de luz (LED).

Título original: *UV Inactivation of SARS-CoV-2 across the UVC Spectrum: KrCl Excimer, Mercury-Vapor, and Light-Emitting-Diode (LED) Sources.*

Autores: Ben Ma, Patricia M. Gundy, Charles P. Gerba, Mark D. Sobsey, Karl G. Lindena

Fecha de publicación: Octubre de 2021

Link: <https://bit.ly/B4H0107>

Este estudio determinó la eficacia de diferentes longitudes de onda UV para eliminar patógenos, concretamente el SARS-CoV-2, con el fin de apoyar los esfuerzos para controlar la actual pandemia mundial de COVID-19 y las futuras pandemias de virus respiratorios causados por coronavirus. El estudio demostró un mayor rendimiento en la desinfección (una mayor tasa de inactivación).

Este estudio determinó que la luz ultravioleta lejana de 222 nm, apta para el ser humano, no sólo es segura, sino también más eficaz para inactivar virus como el SARS-CoV-2 en comparación con las longitudes de onda ultravioleta perjudiciales. Por ello, ofrece un inmenso potencial de aplicaciones en espacios públicos para reducir eficazmente las transmisiones virales en aerosol y en superficie.

[25] ESTUDIO DE EFICACIA GERMICIDA

Estudio piloto sobre la eficacia de descontaminación de un dispositivo de desinfección ultravioleta de 222 nm instalado (Care222™), con un sensor de movimiento, en un baño compartido

Título original: *Pilot study on the decontamination efficacy of an installed 222-nm ultraviolet disinfection device (Care222™), with a motion sensor, in a shared bathroom.*

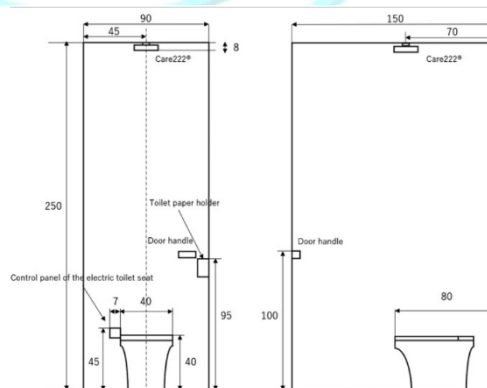
Autores: Hiroki Kitagawa, Yuki Kaiki, Kayoko Tadera, Toshihito Nomura, Keitaro Omori, Norifumi Shigemoto, Shinya Takahashi, Hiroki Ohge

Fecha de publicación: Junio de 2021.

Link: <https://bit.ly/B4H0108>

Las superficies de los inodoros están contaminadas con patógenos y pueden ser un vector de transmisión de enfermedades. En este estudio, investigamos la eficacia de un dispositivo automatizado de desinfección ultravioleta C (UVC) de 222 nm, con un sensor de movimiento, para eliminar la contaminación bacteriana en un baño compartido.

Se montaron dos dispositivos UVC automatizados, desactivados por sensores de movimiento, en el techo de dos cuartos de baño; la ventana de emisión del dispositivo UVC estaba cubierta en el cuarto de baño no tratado. Tras la irradiación, se recogieron muestras de cinco superficies en cuatro puntos temporales/día durante 5 días, y se determinaron las unidades formadoras de colonias (UFC) de bacterias aeróbicas (AB). También se midió el tiempo de irradiación.



Baño a escala. Medidas en cm.

El tiempo de desactivación de la fuente UVC no difirió significativamente entre los baños. **Hubo una diferencia significativa en las UFC totales de AB entre los baños tratados y los no tratados.** En el baño tratado, las UFC de AB del asiento del inodoro, del panel

de control del asiento del inodoro eléctrico y de la parte superior del soporte del papel higiénico fueron significativamente menores que las del control. Las UFC de AB a las 9:00, 15:00 y 18:00 h en el baño tratado fueron significativamente menores que las del control.

Este estudio piloto en un cuarto de baño compartido concluye que el ultravioleta de 222 nm es eficaz para la desinfección en entornos reales, y probablemente más eficaz que los métodos de limpieza tradicionales, que tienen "el problema de la selección de desinfectantes inadecuados; además, algunas zonas podrían quedar sin limpiar debido a errores humanos". **Un estudio anterior demostró que sólo el 50% de las superficies de las habitaciones de los hospitales están suficientemente limpias".**

[24] ESTUDIO DE SEGURIDAD

Los modelos informáticos indican que las lámparas de cloruro de criptón con UVC lejano (222 nm) dañan mucho menos el ADN que la exposición a la luz solar.

Título original: *Computer Modeling Indicates Dramatically Less DNA Damage from Far-UVC Krypton Chloride Lamps (222 nm) than from Sunlight Exposure.*

Autores: Eadie, Ewan; O'Mahoney, Paul; Finlayson, Louise; Barnard, Isla Rose Mary; Ibbotson, Sally; Wood, Kenneth

Fecha de publicación: Junio de 2021.

Link: <https://bit.ly/B4H0109>

Este estudio tiene como objetivo investigar, con un modelo informático, el daño al ADN (evaluado por la formación de dímeros de ciclobutano-pirimidina (CPD)) por el ultravioleta lejano C (far-UVC) en comparación con la exposición a la luz solar tanto en un clima templado (Harwell, Inglaterra – UV index 4.1) como en uno mediterráneo (Tsalónica, Grecia – UV index 8,6).

La investigación utiliza los resultados publicados por Barnard et al. [Barnard, I.R.M (2020) Photodermatol. Photoimmunol. Photomed. 36, 476-477] para determinar el rendimiento relativo de CPD de la exposición a la luz UVC lejana filtrada y no filtrada y a la luz solar.

Según los límites de exposición actuales de la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH), **10 minutos de luz solar con un índice ultravioleta (UV) de 4** -típico a lo largo del día en un clima templado de primavera a otoño- **produce un número equivalente de CPD que 700 horas de UVC lejano sin filtrar o más de 30.000 horas de UVC lejano filtrado en la capa basal.** En la parte superior de la epidermis estos valores se reducen a 30 y 300 horas respectivamente. En cuanto a la inducción de daños en el ADN, evaluada por la formación de CPD, el riesgo de la exposición a la luz solar supera en gran medida el riesgo del UVC lejano. Sin embargo, se desconoce la fotoquímica que se producirá en el estrato córneo por la absorción de la gran mayoría de los fotones de alta energía del UVC lejano, así como sus consecuencias.

[23] ESTUDIO DE EFICACIA GERMICIDA

Inactivación de coronavirus y fagos Phi6 por irradiación a través de las longitudes de onda UVC.

Título original: *Inactivation of Coronaviruses and Phage Phi6 from Irradiation across UVC Wavelengths.*

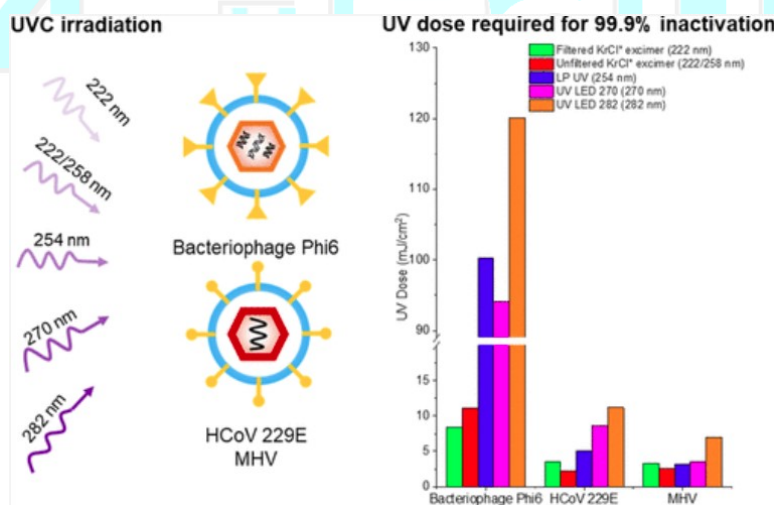
Autores: Ben Ma, Yarrow S. Linden, Patricia M. Gundy, Charles P. Gerba, Mark D. Sobsey, and Karl G. Linden

Fecha de publicación: Marzo de 2021.

Link: <https://bit.ly/B4H0110>

Los dispositivos ultravioleta que emiten irradiación UVC (200-280 nm) han demostrado ser eficaces para la desinfección de virus, debido a su rápida eficacia y a la escasa o nula corrosión del material. Numerosos estudios sobre la inactivación inducida por la UV se han centrado en los virus sin envoltura.

Se sabe poco sobre la acción de la UVC en los virus con envoltura a través de las longitudes de onda de la UVC. En este estudio, determinamos las eficiencias de inactivación de dos coronavirus (ssRNA) y un sucedáneo de bacteriófago dsRNA con envoltura en una solución acuosa tamponada (pH 7,4) **utilizando cinco dispositivos UVC de uso común** que emiten luz a diferentes longitudes de onda que van desde los excimeros de cloruro de criptón que emiten 222 nm hasta los LED UVC que emiten 282 nm.



Nuestros resultados muestran que los virus con envoltura pueden ser inactivados eficazmente utilizando dispositivos UVC, entre los cuales el excimer KrCl tuvo el mejor rendimiento de desinfección (es decir, la tasa de inactivación más alta) para los tres virus con envoltura. Los coronavirus mostraron sensibilidades similares a la irradiación UV en toda la gama de UVC, mientras que el sucedáneo de bacteriófago fue mucho más resistente y mostró una sensibilidad significativamente mayor a la irradiación UVC lejana (<230 nm). **Este estudio proporciona la información y la orientación necesarias para el uso de dispositivos UVC para la desinfección de virus envueltos, lo que puede ayudar a controlar la transmisión del virus en espacios públicos durante la actual pandemia de COVID-19 y más allá.**

[22] ESTUDIO DE SEGURIDAD

El impacto de la radiación UVC lejana (200-230 nm) sobre patógenos, las células, la piel y los ojos: una recopilación y análisis de cien años de datos.

Título original: *The impact of far-UVC radiation (200–230 nm) on pathogens, cells, skin, and eyes – a collection and analysis of a hundred years of data.*

Autores: Martin Hessling, Robin Haag, Nicole Sieber, Petra Vatter

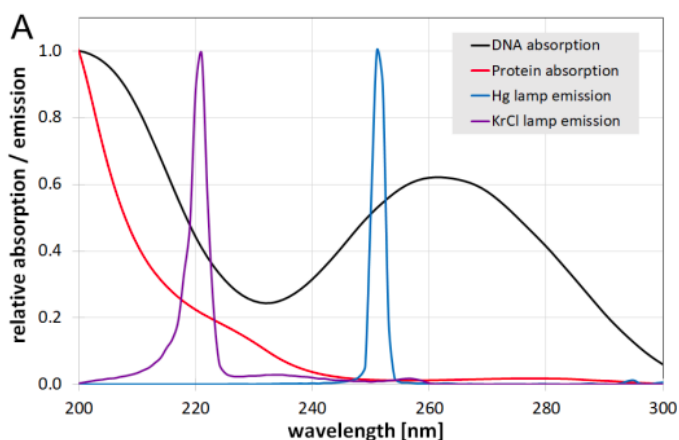
Fecha de publicación: Febrero de 2021.

Link: <https://bit.ly/B4H0111>

La actual pandemia de coronavirus requiere nuevos enfoques de desinfección, especialmente para los virus transmitidos por el aire. La emisión de 254 nm de las lámparas de vacío de baja presión es conocida por su efecto antimicrobiano, pero, por desgracia, esta radiación también es perjudicial para las células humanas. Algunos investigadores han publicado informes que indican que la luz ultravioleta de longitud de onda corta en la región espectral de 200-230 nm (far-UVC) debería inactivar los patógenos sin dañar las células humanas, lo que podría ser muy útil en muchas aplicaciones.

Se realizó una búsqueda bibliográfica sobre el impacto de la radiación UVC lejana en los patógenos, las células, la piel y los ojos, y se calculó la mediana de las dosis de reducción logarítmica para diferentes patógenos y longitudes de onda. Se recogieron los daños observados en las células, la piel y los ojos y se presentaron de forma estandarizada.

Se encontraron más de 100 artículos sobre la desinfección con UVC lejano, publicados en los últimos 100 años. La radiación UVC lejana, **especialmente la emisión de 222 nm de las lámparas de excímero de KrCl, presenta fuertes propiedades antimicrobianas. Las dosis medias de reducción logarítmica necesarias son 1,3 veces mayores que con la irradiación de 254 nm. Una dosis de 100 mJ/cm² reduce todos los patógenos en varios órdenes de magnitud sin dañar las células humanas, si los filtros ópticos bloquean las emisiones por encima de 230 nm.**



El enfoque es muy prometedor, las fuentes de UVC lejano aún no están disponibles en grandes cantidades. Por lo tanto, **puede ser adecuada para futuros enfoques tecnológicos para la descontaminación en salas en presencia de personas o para la antisepsia.**

[21] ESTUDIO DE EFICACIA GERMICIDA

Capacidad de desinfección de un dispositivo de iluminación ultravioleta de 222 nm de longitud de onda: un estudio piloto.

Título original: *Disinfection capabilities of a 222 nm wavelength ultraviolet lighting device: a pilot study.*

Autores: Jun Chance Goh, Dale Fisher, Eileen Chor Hoong Hing, Lee Hanjing, Yap Yan Lin, Jane Lim, Ong Wei Chen, Lim Thiam Chye

Fecha de publicación: Febrero de 2021.

Link: <https://bit.ly/B4H0112>

Demostrar la eficacia de la luz UVC de 222 nm de SafeZone (Ushio Inc., Japón) para reducir la carga bacteriana en las úlceras por presión (UP) en pacientes humanos. Esta investigación es el primer ensayo clínico en humanos que utiliza la UVC de 222 nm para erradicar las bacterias en las heridas humanas.

Los pacientes con úlceras por presión (UP) sacras o glúteas en estadio 2 o 3 (según la definición del Sistema de Estadificación de Lesiones por Presión del Panel Asesor Nacional de Úlceras por Presión revisado) fueron sometidos a cuatro sesiones de terapia con luz UVC de 222 nm durante dos semanas. Antes y después de la terapia UVC, se tomaron cultivos de la herida y se realizaron análisis cuantitativos de las unidades formadoras de colonias bacterianas (UFC).

Bacterial species	Patients, n (%)	Sessions, n	Median % reduction
<i>Escherichia coli</i>	9 (56)	25	50.0
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	5 (31)	16	88.3
<i>Enterococcus species</i>	5 (31)	8	25.0
<i>Candida species</i>	5 (31)	8	80.8
Meticillin-resistant <i>Staphylococcus aureus</i>	4 (25)	13	95.0
<i>Peptostreptococcus</i>	4 (25)	9	0.0
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	3 (18)	10	92.6
<i>Proteus</i>	3 (18)	9	66.7
<i>Bacteroides fragilis</i>	3 (18)	8	62.5
<i>Staphylococcus species</i>	3 (18)	5	100.0
<i>Morganella</i>	2 (12)	3	100.0
<i>Clostridium</i>	2 (12)	2	100.0

Se realizaron un total de **68 sesiones de luz UV en 16 pacientes diferentes**. De estas sesiones, 59 (87,0%) mostraron una reducción de los recuentos de UFC, y 20 (29,4%) mostraron una erradicación completa de las bacterias. Las bacterias identificadas fueron

Staphylococcus aureus resistente a la meticilina, *Pseudomonas aeruginosa* y *Klebsiella Pneumoniae*. **La mediana global de reducción de UFC de las 68 sesiones fue del 78,9%. No se notificaron acontecimientos adversos en ninguna de las sesiones de UV.**

En este estudio, la luz UVC de 222 nm fue segura y eficaz en la reducción de los recuentos de UFC bacterianas en las UP sacras y glúteas en numerosas especies diferentes de bacterias.

[20] ESTUDIO DE SEGURIDAD

Necesidad de revisar los límites de exposición humana a la radiación UV-C ultravioleta

Título original: *A Need to Revise Human Exposure Limits for Ultraviolet UV-C Radiation.*

Autores: David H. Sliney, Bruce E. Struck

Fecha de publicación: Febrero de 2021.

Link: <https://bit.ly/B4H0113>

La pandemia de COVID-19 ha aumentado enormemente el interés por la irradiación germicida ultravioleta (UVGI) como una importante estrategia de intervención para desinfectar el aire en instalaciones de tratamiento médico y espacios públicos interiores.

No obstante, uno de los principales inconvenientes de la UVGI es el reto que supone la instalación segura de lámparas ultravioletas de longitud de onda corta (UV-C) potencialmente peligrosas. Han surgido preguntas sobre lo que parecen ser valores límite de exposición inusualmente conservadores en la banda espectral UV-C entre 180 y 280 nm.

Se revisan las bases de los límites actuales y se proponen algunos ajustes que proporcionarían límites separados para el ojo y la piel a longitudes de onda inferiores a 300 nm y para aumentar los límites tanto de la piel como del ojo en la UV-C por debajo de 250 nm. **Para los ojos se propone pasar de los 23 mJ/cm² actuales a 161 mJ/cm² y para la piel hasta los 479 mJ/cm² en la longitud de onda de 222 nm. Cuantías aprobadas en EE.UU. pero no aún en Europa.**

[19] ESTUDIO DE EFICACIA GERMICIDA

La luz UVC lejana previene la infección por MRSA de las heridas superficiales *in vivo*.

Título original: *Far-UVC light prevents MRSA infection of superficial wounds in vivo.*

Autores: Brian Ponnaiya, Manuela Buonanno, David Welch, Igor Shuryak, Gerhard Randers-Pehrson, and David J. Brenner

Fecha de publicación: Febrero de 2021.

Link: <https://bit.ly/B4H0114>

La prevención de las infecciones superficiales de las heridas quirúrgicas por bacterias resistentes a los medicamentos, como el *Staphylococcus aureus* resistente a la meticilina (MARS), supone actualmente un gran reto para la atención sanitaria. Se cree que la mayoría de las infecciones del sitio quirúrgico son causadas por la transmisión aérea de bacterias que se posan en la herida durante los procedimientos quirúrgicos. Hemos demostrado anteriormente que la luz ultravioleta lejana C en el rango de longitud de onda de 207-222 nm es significativamente dañina para las bacterias, pero sin dañar las células y los tejidos de los mamíferos. Es importante que la lámpara esté dotada de un filtro para eliminar la luz emitida a longitudes de onda superiores a 230 nm, que son perjudiciales

Utilizando un modelo de infección de heridas superficiales en ratones sin pelo, aquí probamos la hipótesis de que la luz de 222 nm mata al MARS que se posa en una incisión superficial de la piel con la misma eficacia que la luz germicida típica (254 nm), pero sin inducir daños en la piel.

Para simular el escenario en el que las incisiones se infectan durante los procedimientos quirúrgicos cuando los patógenos de la sala se posan en una herida, se esparció MARS en una zona definida de la piel dorsal del ratón; a continuación, se expuso la piel infectada a la luz UVC (222 nm o 254 nm) seguida de una incisión superficial dentro de la zona definida, que se suturó inmediatamente. Dos y siete días después del procedimiento, se midió la eficacia bactericida como unidad de formación de colonias (UFC) de MARS por gramo de piel recogida, mientras que las muestras fijadas se utilizaron para evaluar el daño cutáneo medido en términos de grosor epidérmico y fotodaño del ADN.

En el caso de incisiones superficiales infectadas con bacterias que se posan en la herida, la luz de 222 nm mostró las mismas propiedades bactericidas que la luz de 254 nm, pero sin el daño cutáneo asociado.

Al ser seguros para el paciente y el personal del hospital, nuestros resultados sugieren que la luz UVC lejana (222 nm) podría ser un enfoque conveniente para prevenir la transmisión de agentes infecciosos resistentes a los medicamentos en el entorno clínico.

[18] ESTUDIO DE SEGURIDAD

Evaluación de las reacciones agudas en la piel de ratones irradiados con UV-C de 222 y 235 nm.

Título original: *Evaluation of Acute Reactions on Mouse Skin Irradiated with 222 and 235 nm UV-C.*

Autores: Nozomi Yamano, Makoto Kunisada, Aiko Nishiaki-Sawada, Hiroyuki Ohashi, Tatsushi Igarashi, Chikako Nishigori.

Fecha de publicación: Enero de 2021.

Link: <https://bit.ly/B4H0115>

Se evaluó la respuesta biológica y el daño en el ADN tras la irradiación con longitudes de onda más cortas en la gama UV-C para investigar la seguridad en tres longitudes de onda debido a la reciente aparición de equipos germicidas que emiten UV-C de longitud de onda corta para diversos fines, incluidos los usos médicos.

Para estimar una dosis de seguridad aceptable para la piel humana en la gama de UV-C, especialmente la de UV-C corta, se estudiaron los efectos biológicos de los UV-C de **207 nm, 222 nm y 235 nm utilizando ratones albinos sin pelo y se evaluaron las reacciones inflamatorias en la piel**. Para explorar un indicador apropiado para evaluar la respuesta biológica, empleamos la determinación de la dosis mínima de respuesta perceptible (MPRD), mediante la cual se podía observar cualquier respuesta cutánea sutil; eritema, edema y escamas mediante inspección visual.

Rara vez se observó eritema, pero el edema y la formación de escamas eran evidentes para las longitudes de onda UV-C cortas. Se determinó que el MPRD a 207, 222 y 235 nm era $> 15 \text{ kJ/m}^2$, 15 kJ/m^2 y $2,0 \text{ kJ/m}^2$, respectivamente. Estos valores podrían ser umbrales e indicadores para posibles evaluaciones de seguridad. **Nuestros datos sugieren que los actuales límites de exposición humana para longitudes de onda UV-C cortas por debajo de 254 nm son demasiado restrictivos y deberían reconsiderarse para futuras lámparas de desinfección con longitudes de onda UV-C cortas.**

[17] ESTUDIO DE SEGURIDAD

Daños mínimos y superficiales en el ADN de la piel humana causados por el ultravioleta lejano filtrado C.

Título original: *Minimal, superficial DNA damage in human skin from filtered far-ultraviolet C.*

Autores: R.P. Hickerson, M.J. Conneely, S.K. Hirata Tsutsumi, K. Wood, D.N. Jackson, S.H. Ibbotson, E. Eadie

Fecha de publicación: Enero de 2021.

Link: <https://bit.ly/B4H0116>

Las lámparas excimer de cloruro de kriptón tienen una longitud de onda máxima de 222 nm. **En la actualidad, son las únicas fuentes viables de "UVC lejano" para la inactivación en toda la sala del SARS-CoV-2.** Las lámparas LED no cuenta aún con la eficiencia ni son lo suficientemente potentes para esta tarea.

Las lámparas empleadas en el estudio incorporan un filtro que reduce las longitudes de onda más largas para evitar daños en la capa basal y el ADN. Un estudio realizado en 20 voluntarios sanos ^[13], no mostró la inducción de eritema 24 horas después de la exposición a 500 mJ/cm^2 .

El ensayo se llevó a cabo mediante la irradiación de piel humana en dos escenarios utilizando una fuente de UVC lejana filtrada; en primer lugar, utilizando un novedoso modelo de piel humana *ex vivo* de espesor completo cultivada a tensión y, en segundo lugar, utilizando la exposición *in vivo*.

In vivo, dos de los autores irradiaron la parte interna de sus antebrazos con una dosis de 6100 mJ/cm² de UVC lejano, utilizando la misma fuente y distancia que las muestras *ex vivo*. **Ambas muestras de control in vivo fueron negativas para CPD.**

Esta primera demostración en humanos de la localización de la CPD a partir de la UVC lejana filtrada indica que la longitud de onda de emisión máxima de KrCl de 222 nm no penetra más allá de las capas epidérmicas más superficiales.

El modelo de piel *ex vivo* también coincidió con las exposiciones *in vivo*. La exposición radiante suministrada en estos experimentos es 265 veces superior al valor límite de exposición.

Hasta la fecha, las pruebas son abrumadoramente favorables al uso de la UVC lejana filtrada como tecnología germicida segura y eficaz.

[16] ESTUDIO DE EFICACIA GERMICIDA

Predicción de la inactivación de coronavirus en el aire por medio de UVC lejano en salas pobladas utilizando un modelo de radiación-CFD acoplado de alta fidelidad.

Título original: *Predicting airborne coronavirus inactivation by far-UVC in populated rooms using a high-fidelity coupled radiation-CFD model.*

Autores: Andrew G. Buchan, Liang Yang & Kirk D. Atkinson

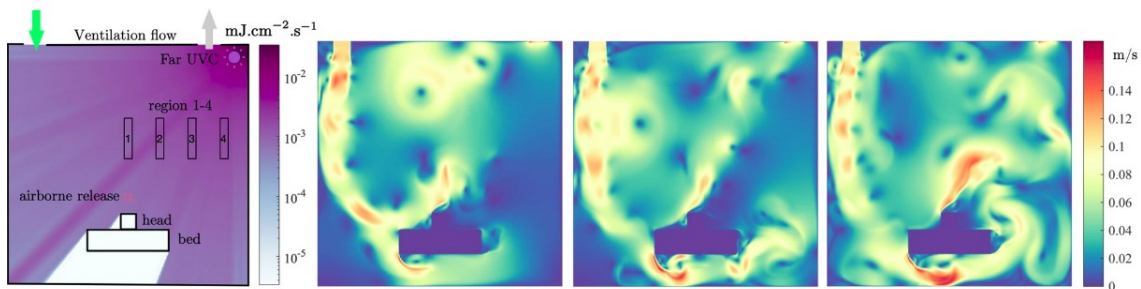
Fecha de publicación: Noviembre de 2020.

Link: <https://go.nature.com/3A0bA6m>

El riesgo de contraer el COVID-19 es mayor en los hospitales y en los centros de atención de larga duración, sobre todo para los grupos vulnerables.

En estos entornos, los aerosoles de coronavirus liberados a través de la respiración aumentan las posibilidades de propagación de la enfermedad.

Para reducir las transmisiones por aerosol, se ha propuesto el uso de una dosis baja de luz UVC lejana para desinfectar el aire de las habitaciones. A diferencia de la UVC típica, que se ha utilizado para matar microorganismos durante décadas pero que es cancerígena y cataratógena, las pruebas recientes han demostrado que la UVC lejana es segura para su uso alrededor de los seres humanos.



Se ha desarrollado un modelo de transporte de radiación y dinámica de fluidos de alta fidelidad y totalmente acoplado para cuantificar las tasas de desinfección dentro de una

sala ventilada típica. **El modelo muestra que las tasas de desinfección aumentan entre un 50 y un 85% cuando se utiliza la UVC lejana dentro de los niveles de exposición recomendados actualmente** (23 mJ/cm² frente a los 479 mJ/cm² actuales), **en comparación con la ventilación de la habitación por sí sola.**

Con estas magnitudes de reducción, la iluminación con far-UVC podría emplearse para mitigar la transmisión del SARS-CoV-2 antes del inicio de futuras oleadas o del comienzo del invierno, cuando los riesgos de infección son mayores. Esto es particularmente significativo en espacios mal ventilados donde otros medios de reducción no son prácticos, además **se puede reducir el distanciamiento social sin aumentar el riesgo.**

[15] ESTUDIO DE SEGURIDAD

Exposición extrema a UVC lejano filtrado: un estudio de caso.

Título original: *Extreme Exposure to Filtered Far-UVC: A Case Study.*

Autores: Ewan Eadie, Isa Barnard, Sally Hellen Ibbotson, Kenneth Wood.

Fecha de publicación: Septiembre de 2020.

Link: <https://bit.ly/B4H0118>

Consideramos que era necesario realizar una prueba rápida de autoexposición en humanos, para informar sobre futuras investigaciones controladas y promover un debate informado.

Un **individuo con piel tipo II** de Fitzpatrick expuso la parte interna de sus antebrazos a grandes exposiciones radiantes de una fuente de UVC lejana filtrada. **No se observaron cambios visibles en la piel con 1.000 mJ/cm², mientras que con una exposición de 8.000 mJ/cm² se produjo una pigmentación de la piel que apareció hacia las 2 horas y se resolvió en 24 horas.**

Estos resultados, combinados con el modelo informático de transferencia radiactiva de Monte Carlo, sugieren que el filtrado de las longitudes de onda ultravioleta más largas es fundamental para la seguridad de la piel humana de los dispositivos UVC lejanos.

[14] ESTUDIO DE EFICACIA GERMICIDA

Eficacia de la luz ultravioleta de 222 nm en la desinfección de la contaminación de superficies por SARS-CoV-2.

Título original: *Effectiveness of 222-nm ultraviolet light on disinfecting SARS-CoV-2 surface contamination.*

Autores: Hiroki Kitagawa, MD - Toshihito Nomura, MD, PhD - Tanuza Nazmul, MBBS - Norifumi Shigemoto, MD, PhD - Takemasa Sakaguchi, MD, PhD - Hiroki Ohge, MD, PhD

Fecha de publicación: Septiembre de 2020.

Link: <https://bit.ly/B4H0119>

El coronavirus 2 del síndrome respiratorio agudo severo (SARS-CoV-2), causante de la enfermedad por coronavirus 2019 (COVID-19), se ha convertido en una grave amenaza para la salud humana en todo el mundo. La desinfección eficaz de las superficies contaminadas con SARS-CoV-2 puede ayudar a prevenir su propagación. El objetivo de este estudio es investigar la eficacia in vitro de la luz ultravioleta lejana (UVC) de 222 nm en la desinfección de superficies contaminadas con SARS-CoV-2.

Se investigó el SARS-CoV-2 después de la irradiación UV (0,1 mW/cm²) a 222 nm durante 10-300 segundos, utilizando la dosis infecciosa de cultivo de tejidos del 50% (TCID₅₀). Además, utilizamos la reacción en cadena de la polimerasa de transcripción inversa cuantitativa para cuantificar el ARN del SARS-CoV-2 en las mismas condiciones.

Uno y 3 mJ/cm² de irradiación UVC de 222 nm (0,1 mW/cm² durante 10 y 30 segundos) **dieron lugar a una reducción del 88,5 y el 99,7% del SARS-CoV-2 viable según el ensayo TCID₅₀**, respectivamente. Por el contrario, el número de copias del ARN del SARS-CoV-2 no cambió tras la irradiación con UVC, incluso después de una irradiación de 5 minutos.

Este estudio muestra la eficacia de la irradiación UVC de 222 nm contra la contaminación por SARS-CoV-2 en un experimento in vitro. Es necesario seguir evaluando la seguridad y la eficacia de la irradiación UVC de 222 nm para reducir la contaminación de las superficies del mundo real y la posible transmisión del SARS-CoV-2.

[13] ESTUDIO DE EFICACIA GERMICIDA / ESTUDIO DE SEGURIDAD

Ensayo clínico exploratorio sobre la seguridad y el efecto bactericida de la irradiación ultravioleta C de 222 nm en seres humanos sanos.

Título original: *Exploratory clinical trial on the safety and bactericidal effect of 222-nm ultraviolet C irradiation in healthy humans.*

Autores: Tomoaki Fukui, Takahiro Niikura, Takahiro Oda, Yohei Kumabe, Hiroyuki Ohashi, Masahiro Sasaki, Tatsushi Igarashi, Makoto Kunisada, Nozomi Yamano, Keisuke Oe, Tomoyuki Matsumoto, Takehiko Matsushita, Shinya Hayashi, Chikako Nishigori, Ryosuke Kuroda

Fecha de publicación: Agosto de 2020.

Link: <https://bit.ly/B4H0120>

La infección del sitio quirúrgico es una de las complicaciones más graves de los tratamientos quirúrgicos. Sin embargo, aún no se ha investigado cuál es el procedimiento óptimo para prevenir dichas infecciones. La radiación ultravioleta C (UVC) con una longitud de onda corta tiene un alto efecto bactericida; sin embargo, es citotóxica. No obstante, dado que la UVC con una longitud de onda de 222 nm sólo alcanza el estrato córneo, no afecta a las células de la piel. El objetivo de este estudio es investigar la seguridad de la irradiación UVC de 222 nm y examinar su efecto de esterilización de la piel en voluntarios sanos.

Este ensayo se realizó en **20 voluntarios sanos**. Se irradió la espalda del sujeto con UVC de 222 nm a 50-500 mJ/cm², y se evaluó el eritema inducido (enrojecimiento de la piel). Posteriormente, se irradió la espalda con una cantidad máxima de UVC que no causaba eritema, y se cultivaron los hisopos de piel antes y después de la irradiación. Se midió el número de colonias formadas al cabo de 24 horas. Además, se midió el dímero de ciclobuteno-pirimidina (CPD) como indicador de daño en el ADN utilizando tejidos de la piel de las regiones no irradiadas y de las irradiadas.



Todos los sujetos no experimentaron ningún eritema en todas las dosis. La espalda del sujeto fue irradiada a 500 mJ/cm², y el número de colonias bacterianas en el cultivo de la piel disminuyó significativamente con la irradiación UVC de 222 nm. La cantidad de CPD producida en la región irradiada fue ligera pero significativamente mayor que la de la región no irradiada.

La UVC de 222-nm a 500 mJ/cm² fue una dosis de irradiación segura y poseyó efectos bactericidas. En el futuro, se espera que la irradiación UVC de 222 nm contribuya a la prevención de la infección perioperatoria.

B4 Health

[12] ESTUDIO DE EFICACIA GERMICIDA

La luz UVC lejana (222 nm) inactiva de forma eficaz y segura los coronavirus humanos transmitidos por el aire.

Título original: *Far-UVC light (222nm) efficiently and safety inactivates airborne human coronaviruses.*

Autores: Manuela Buonanno, David Welch, Igor Shuryak & David J. Brenner

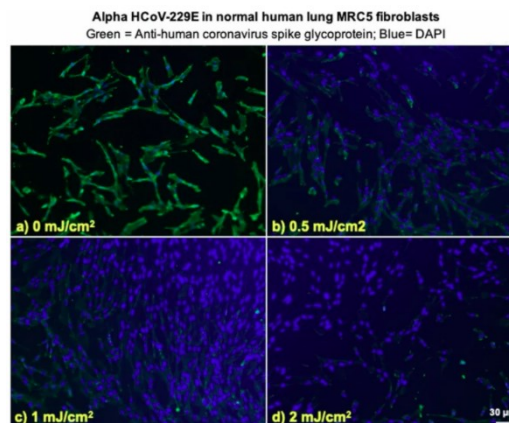
Fecha de publicación: Junio de 2020.

Link: <https://go.nature.com/3zCJa15>

Un enfoque directo para limitar las transmisiones virales en el aire consiste en inactivarlas en un breve plazo de tiempo desde su producción. La luz ultravioleta germicida, normalmente a 254 nm, es eficaz en este contexto pero, utilizada directamente, puede ser un peligro para la salud de la piel y los ojos. Por el contrario, la luz ultravioleta lejana (207-222 nm) mata eficazmente a los patógenos, potencialmente sin dañar los tejidos humanos expuestos. Anteriormente demostramos que la luz UVC lejana de 222 nm mata eficazmente el virus de la gripe transmitido por el aire y ampliamos esos estudios para explorar la eficacia de la UVC lejana contra los coronavirus humanos transmitidos por el aire alfa HCoV-229E y beta HCoV-OC43 (causantes entre el 15-30% de las infecciones respiratorias anuales). **Las dosis bajas de 1,7 y 1,2 mJ/cm² inactivaron el 99,9% de los coronavirus 229E y OC43 aerosolizados, respectivamente.**

Como todos los coronavirus humanos tienen tamaños genómicos similares, se espera que la luz UVC lejana muestre una eficacia de inactivación similar contra otros coronavirus humanos, incluido el SARS-CoV-2. Basándose en los resultados de beta-HCoV-OC43, la exposición continua a la luz ultravioleta lejana en lugares públicos ocupados con el límite de exposición reglamentario actual (~3 mJ/cm²/hora) daría lugar a una inactivación viral de ~90% en ~8 minutos, 95% en ~11 minutos, 99% en ~16 minutos y 99,9% de inactivación en ~25 minutos. Por lo tanto, mientras se mantiene dentro de los límites de dosis reglamentarios actuales (23 mJ/cm² cuando se realizó el estudio), la exposición a la UVC lejana de baja tasa de dosis puede potencialmente proporcionar una reducción importante en el nivel ambiental de los coronavirus en el aire en lugares públicos ocupados.

De este estudio ha surgido la solicitud de patente US20180169279A1: Apparatus, method and system for selectively affecting and/or killing a virus.



[11] ESTUDIO DE SEGURIDAD

Efectos inofensivos de la radiación ultravioleta lejana de 222 nm en los tejidos de la piel y los ojos de los ratones.

Título original: *Harmless Effects of Sterilizing 222-nm far-UV Radiation on Mouse Skin and Eye Tissues.*

Autores: Jean Cadet

Fecha de publicación: Junio de 2020.

Link: <https://bit.ly/B4H0122>

En este número, Yamano et al. aportan nuevas pruebas de que la luz ultravioleta lejana germicida de 222 nm no tiene efectos nocivos inmediatos ni retardados en la piel y el tejido ocular de las ratas. La seguridad de las lámparas de excímero de criptón-cloro de 222 nm, destacada en el artículo de comentario, ya ha recibido aplicaciones relevantes en el tratamiento de infecciones de sitios quirúrgicos y en el control de patógenos transmitidos por el aire y por los alimentos.

[10] ESTUDIO DE SEGURIDAD

Es poco probable que las longitudes de onda ultravioleta lejanas para la desinfección dañen la piel.

Título original: *Far-UVC wavelengths for disinfection are unlikely to harm skin.*

Autores: Isla Barnard, Ewan Eadie, Kenneth Wood

Fecha de publicación: Abril de 2020.

Link: <https://bit.ly/B4H0128>

Se sabe que la radiación ultravioleta-C (UVC) es eficaz para la destrucción de microorganismos y bacterias resistentes a los medicamentos y se está investigando su eficacia para destruir el virus responsable de la actual pandemia mundial de Covid-19.

La UVC lejana (200 - 220 nm) se ha propuesto como una radiación de desinfección eficaz y segura para los seres humanos. En 2014, Woods et al. llevaron a cabo un primer estudio en persona para evaluar el efecto en la piel de un dispositivo emisor de UVC de 222 nm... Woods et al. plantearon la hipótesis de que una pequeña cantidad de radiación UVC de mayor longitud de onda por encima de 250 nm (<3%) podría estar contribuyendo a los efectos observados. Hemos querido determinar por qué estos resultados contrastan con otros estudios publicados que investigan fuentes de UVC lejanas.

Nuestros resultados demuestran que, **mientras que un porcentaje de la radiación UVC lejana a 222 nm penetra en la epidermis superior, es mínima la que llega a la epidermis media y ninguna en la capa basal.** Es probable que la formación directa de CPD en la capa basal observada por Woods et al. haya surgido de emisiones de fuentes de muy baja intensidad por encima de 230 nm, en particular el rango de longitudes de onda de 270 nm a 310 nm, donde las emisiones espectrales no se visualizan sin trazar la irradiancia incidente en una escala logarítmica. Se ha demostrado que el filtrado cuidadoso de las emisiones espectrales UVC, para eliminar las longitudes de onda más largas no deseadas, no induce la inflamación de los tejidos ni aumenta las lesiones premutágenas del ADN tanto en la piel de los mamíferos como en un modelo de piel humana in vitro 2,5. Esto apoya nuestra conclusión de que la radiación ultravioleta de mayor longitud de onda fue la responsable de los efectos observados por Woods et al.

[9] ESTUDIO DE EFICACIA GERMICIDA

La luz ultravioleta C con una longitud de onda de 222 nm inactiva un amplio espectro de patógenos microbianos.

Título original: *Ultraviolet C light with wavelength of 222 nm inactivates a wide spectrum of microbial pathogens.*

Autores: K. . Narita, K. Asano, K. Naito, H. Ohashi, M. Sasaki, Y. Morimoto, T. Igarashi, A. Nakane

Fecha de publicación: Marzo de 2020.

Link: <https://bit.ly/B4H0124>

La irradiación de la luz UVC de 222 nm tuvo un potente efecto germicida sobre las células bacterianas vegetativas, las levaduras y los virus, y fue tan eficaz como el UVC de 245 nm. Además, la luz ultravioleta de 222 nm tuvo un efecto germicida más potente sobre las endosporas bacterianas en comparación con el UVC de 254 nm, sin embargo, más débil para las esporas e hifas fúngicas

Se irradiaron a distintas dosis y se evaluaron las células bacterianas y fúngicas vivas restantes y la infectividad viral de los siguientes microorganismos: *Staphylococcus aureus*,

Pseudomonas aeruginosa, *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* subsp. serovar *Typhimurium*, *Campylobacter jejuni*, *Bacillus cereus* (células vegetativas y endosporas), *Clostridium sporogenes* (células vegetativas y endosporas), *Clostridioides difficile* (endosporas), *Candida albicans* (levadura), *Aspergillus niger* (hifas y esporas), *Trichophyton rubrum* (hifas y esporas), *calicivirus felino* y *virus de la gripe A*.

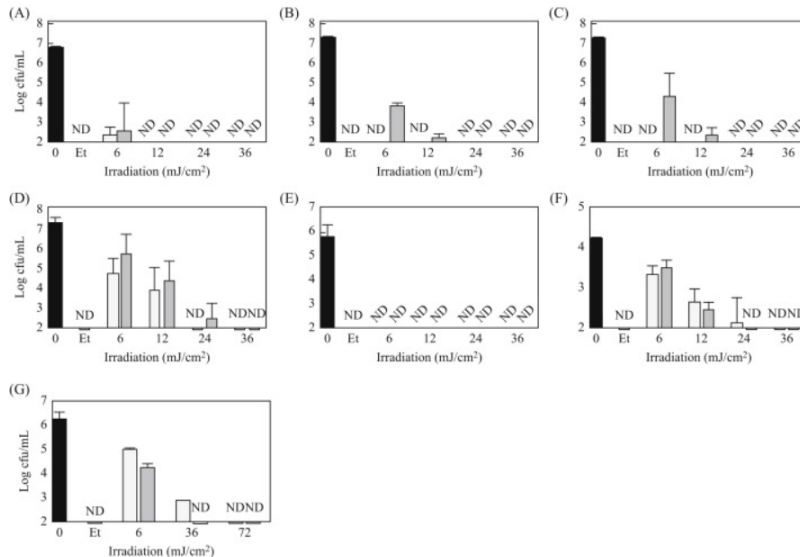


Figure 1 Effect of 222-nm ultraviolet C (UVC) light on bacterial vegetative cells. Vegetative cell suspensions (0.5 mL each) of *Staphylococcus aureus* (A), *Pseudomonas aeruginosa* (B), *Escherichia coli* (C), *Salmonella enterica* subsp. serovar *Typhimurium* (D), *Campylobacter jejuni* (E), *Bacillus cereus* (F) and *Clostridium sporogenes* (G) were overlaid on 35-mm culture dishes and irradiated with 254-nm UVC (white bars) or 222-nm UVC (dark bars). Non-irradiated controls are shown as black bars. In each experiment, bacteria were incubated with ethanol (Et) at room temperature for 10 s. Bacterial numbers in the irradiated suspensions were enumerated by plating 10-fold serial dilutions of the suspensions on tryptic soy agar, with colonies counted 24–48 h after incubation at 37°C. Bacterial numbers are expressed as colony-forming units (cfu). Data are expressed as mean \pm standard deviation of two independent experiments. ND, not detected.

[8] ESTUDIO DE SEGURIDAD

Efectos a largo plazo de las lámparas esterilizadoras de radiación ultravioleta C de 222 nm en ratones susceptibles a la radiación ultravioleta.

Título original: *Long-term Effects of 222-nm ultraviolet radiation C Sterilizing Lamps on Mice Susceptible to Ultraviolet Radiation.*

Nozomi Yamano, Makoto Kunisada, Sachiko Kaidzu, Kazunobu Sugihara, Aiko Nishiaki-Sawada, Hiroyuki Ohashi, Ai Yoshioka, Tatsushi Igarashi, Akihiro Ohira, Masaki Tanito, Chikako Nishigori

Fecha de publicación: Marzo de 2020.

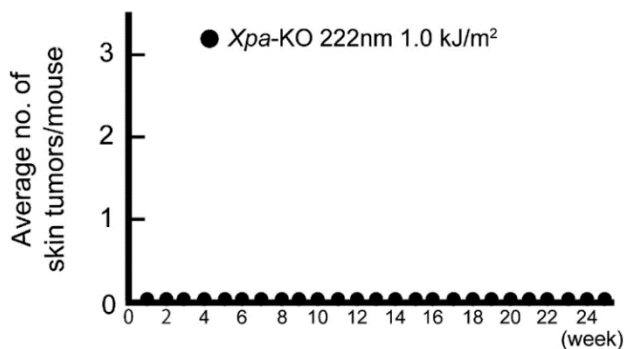
Link: <https://bit.ly/B4H0125>

Las lámparas germicidas que emiten radiación UV de 254 nm se utilizan habitualmente para la esterilización de superficies, no pueden utilizarse para la piel humana porque causan genotoxicidad.

La UVC de 222 nm ejerce una capacidad de esterilización comparable a la de la UVC de 254 nm sin producir dímeros de ciclobutano-pirimidina (CPD). Por lo tanto, en el presente estudio se investigan los efectos a largo plazo de la UVC de 222 nm en la piel

utilizando ratones de fenotipo altamente fotocarcinogénico que carecen del gen del grupo de complementación A del xeroderma pigmentoso (Xpa-), que participa en la reparación de los CPDs.

La formación de CPDs se reconoció sólo en la capa superior de la epidermis, incluso con altas dosis de exposición a UVC de 222 nm. No se observaron tumores en los ratones Xpa- ni en los ratones de tipo salvaje mediante la irradiación repetida con UVC de 222 nm, utilizando un protocolo que había demostrado producir tumores en los ratones Xpa-knockout irradiados con UVB de banda ancha. Además, no se observó eritema ni hinchazón de las orejas en ambos genotipos de ratón tras la exposición a la UVC de 222 nm.



Se ha demostrado por primera vez en el mundo que la iluminación directa y repetitiva de la radiación ultravioleta C (UVC) de 222 nm, para la esterilización de la piel humana, sin evidencia de carcinogénesis cutánea en la exposición a largo plazo, incluso para los ratones de fenotipo altamente fotocarcinogénico de la piel, además de no tener reacciones inflamatorias ni efectos perjudiciales en los ojos de los ratones. Esto sugiere que la UVC de 222 nm también es segura para los ojos y la piel de los seres humanos.

[7] ESTUDIO DE SEGURIDAD

Evaluación del daño corneal agudo inducido por la luz ultravioleta de 222 nm y 254 nm en ratas Sprague-Dawley.

Título original: *Evaluation of acute corneal damage induced by 222-nm and 254-nm ultraviolet light in Sprague-Dawley rats.*

Autores: Sachiko Kaidzu, Kazunobu Sugihara, Masahiro Sasaki, Aiko Nishiaki, Tatsushi Igarashi, Masaki Tanito

Fecha de publicación: Abril de 2019

Link: <https://bit.ly/B4H0126>

La luz ultravioleta (UV) de 222 nanómetros producida por una lámpara de excimer de criptón-cloro es perjudicial para las células bacterianas, pero no para la piel.

Este estudio se realiza para poder conocer los efectos de la exposición a la luz UV de 222 nm en el ojo.

Han evaluado el daño corneal agudo inducido por la luz UV de 222 y 254 nm en ratas albinas. Bajo anestesia profunda, se expuso a luz UV a ratas albinas Sprague-Dawley de 6 semanas de edad. Los niveles de exposición a la radiación corneal fueron de 30, 150 y 600 mJ/cm².

Los defectos epiteliales se detectaron mediante tinción con fluoresceína. En las córneas expuestas a más de 150 mJ/cm² de luz UV se desarrolló una queratitis puntiforme superficial, y en las expuestas a 600 mJ/cm² de luz UV se observó una erosión. La tinción con hematoxilina y eosina también mostró defectos epiteliales corneales en los ojos expuestos a la luz UV de 254 nm. Sin embargo, no se produjeron daños en las córneas expuestas a la luz UV de 222 nm. Sólo se observaron células positivas al dímero de ciclobutano-pirimidina en las córneas normales y en las expuestas a la luz UV de 254 nm. **La luz UV de 222 nm no indujo ningún daño en la córnea, lo que sugiere que la luz UV de 222 nm puede no dañar los ojos de las ratas dentro del rango de energía y puede ser útil para esterilizar o prevenir infecciones en el futuro.**

[6] ESTUDIO DE SEGURIDAD

La irradiación crónica con luz UVC de 222 nm no induce daños en el ADN ni lesiones epidérmicas en la piel de los ratones, incluso a dosis elevadas.

Título original: *Chronic irradiation with 222-nm UVC light induces neither DNA damage nor epidermal lesions in mouse skin, even at high doses.*

Autores: Kouji Narita, Krisana Asano, Yukihiro Morimoto, Tatsushi Igarashi, Akio Nakane

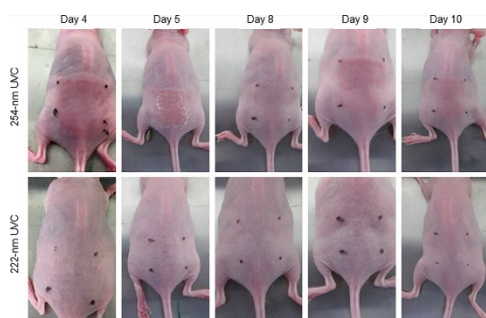
Fecha de publicación: Julio de 2018.

Link: <https://bit.ly/B4H0127>

Las infecciones del sitio quirúrgico representan un importante problema clínico asociado a un aumento de la morbilidad y la mortalidad quirúrgicas.

Se ha considerado que la irradiación con UVC durante la cirugía representa una posible estrategia para prevenir el desarrollo de esas infecciones. La UVC de 254 nm induce marcados niveles de daño en el ADN mediante la generación de dímeros de ciclobutilpirimidina (CPD) en los microorganismos. Sin embargo, este efecto se produce no sólo en los microorganismos, sino también en las células humanas, y se ha establecido que la exposición crónica a la UVC de 254 nm representa un peligro para la salud humana.

Por el contrario, a pesar de que se ha demostrado que la luz UVC de longitud de onda corta, especialmente la UVC de 222 nm, provoca un efecto bactericida, se ha informado de que **la irradiación única con una dosis elevada de energía UVC de 222 nm no induce lesiones mutagénicas o citotóxicas en el ADN de las células de mamíferos.** Sin embargo, no se ha determinado el efecto de la irradiación crónica con una dosis elevada de 222 nm de UVC en células de mamíferos.



En este estudio, se demostró que se indujo un gran número de células que expresan CPD en la epidermis de los ratones tras el tratamiento con una pequeña cantidad de UVC de 254-nm de exposición única, y luego se redujo menos de la mitad de estas células en 24 h. Se reveló que la irradiación crónica con UVC de 254-nm induce quemaduras solares y descamación en la piel de los ratones.

El análisis histológico demostró que sólo se detectó un pequeño número de células que expresaban CPD en el estrato córneo hiperqueratósico tras la irradiación crónica con una dosis elevada de UVC de 254 nm, y que también se indujo una hiperplasia significativa y un edema intercelular en la epidermis de los ratones. En cambio, **la irradiación crónica con luz UVC de 222 nm resultó no inducir efectos mutagénicos ni citotóxicos en la epidermis de los ratones.** Estos resultados indicaron que la luz UVC de 222 nm emitida por el aparato (o dispositivo) de la lámpara, que fue diseñada para atenuar la luz nociva presente en longitudes de onda de más de 230 nm, representa una herramienta prometedora para la reducción de la incidencia de las infecciones originadas durante la cirugía en los pacientes y el personal del hospital.

[5] ESTUDIO DE EFICACIA GERMICIDA

Luz ultravioleta lejana: Una nueva herramienta para controlar la propagación de enfermedades microbianas transmitidas por el aire.

Título original: *Far-UVC light: A new tool to control the spread of airborne-mediated microbial diseases.*

Autores: David Welch, Manuela Buonanno, Veljko Grilj, Igor Shuryak, Connor Crickmore, Alan W. Bigelow, Gerhard Randers-Pehrson, Gary W. Johnson & David J. Brenner

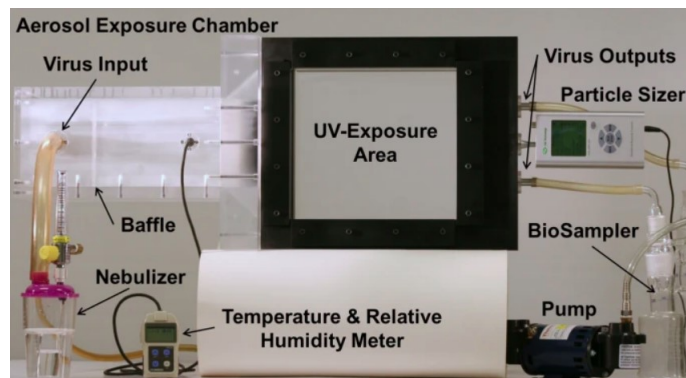
Fecha de publicación: Febrero de 2018.

Link: <https://go.nature.com/3Q4nlhX>

Las enfermedades microbianas transmitidas por el aire, como la gripe y la tuberculosis, representan importantes retos para la salud pública. Un enfoque directo para prevenir la transmisión aérea es la inactivación de los patógenos transportados por el aire, y el potencial antimicrobiano de la luz ultravioleta UVC en el aire se ha establecido desde hace tiempo; sin embargo, su uso generalizado en entornos públicos es limitado porque las fuentes de luz UVC convencionales son cancerígenas y cataratogénas.

Por el contrario, como ya han demostrado en estudios anteriores, la luz UVC lejana (207-222 nm) inactiva eficazmente las bacterias sin dañar la piel de los mamíferos expuestos. Esto se debe a que, debido a su fuerte absorción en los materiales biológicos, **la luz UVC lejana no puede penetrar ni siquiera en las capas externas (no vivas) de la piel o del ojo humano;** sin embargo, como las bacterias y los virus tienen dimensiones micrométricas o menores, la luz UVC lejana puede penetrarlos e inactivarlos. Se demuestra, por primera vez, que el UVC lejano inactiva eficazmente los virus aerosolizados en el aire, con una dosis muy baja de 2 mJ/cm² de luz de 222 nm que inactiva >95% del virus de la gripe H1N1 aerosolizado.

La luz UVC lejana de dosis muy baja en lugares públicos interiores es una herramienta prometedora, segura y barata para reducir la propagación de enfermedades microbianas transmitidas por el aire.



De este estudio ha surgido la solicitud de patente US10780189B2: Apparatus, method and system for selectively affecting and/or killing a virus.

[4] ESTUDIO DE EFICACIA GERMICIDA

Efectos de desinfección y curación de la luz UVC de 222 nm en la infección por *Staphylococcus aureus* resistente a la metilicina en heridas de ratón.

Título original: *Disinfection and healing effects of 222-nm UVC light on methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* infection in mouse wounds.*

Autores: Kouji Narita, Krisana Asano, Yukihiro Morimoto, Tatsushi Igarashi, Michael R Hamblin, Tianhong Dai, Akio Nakane

Fecha de publicación: Octubre de 2017

Link: Original: <https://bit.ly/B4H0129>

Corrección: <https://bit.ly/B4H0130>

Se sabe que la radiación UVC es altamente germicida. Sin embargo, la exposición a la luz UVC de 254 nm provoca lesiones en el ADN, como los dímeros de ciclobutano-pirimidina (CPD) en las células humanas, y puede inducir cáncer de piel tras exposiciones repetidas a largo plazo.

La UVC de longitud de onda corta es absorbida por las proteínas de la membrana y el citosol, y no llega al núcleo de las células humanas. Por lo tanto, **la irradiación con UVC de 222 nm podría ser una combinación óptima de desinfección eficaz y seguridad biológica para las células humanas.**

En este estudio, se investigó la eficacia biológica de la UVC de 222 nm utilizando un modelo de ratón de una herida cutánea infectada con *Staphylococcus aureus* resistente a la metilicina (MARS). La irradiación con UVC de 222 nm redujo significativamente el número de bacterias en la superficie de la piel en comparación con la piel no irradiada.

Los recuentos bacterianos en las heridas evaluados en los días 3, 5, 8 y 12 después de la irradiación demostraron que el **efecto bactericida de la UVC de 222 nm era igual o más eficaz que el de la UVC de 254 nm**. El análisis histológico reveló que la migración de los queratinocitos, que es esencial para el proceso de curación de las heridas, se vio afectada en las heridas irradiadas con UVC de 254 nm, pero no en las irradiadas con UVC de 222 nm. No se detectaron células que expresaran CPD ni en la epidermis ni en la

dermis de las heridas irradiadas con UVC de 222 nm, mientras que se encontraron células que expresaban CPD tanto en la epidermis como en la dermis irradiadas con UVC de 254 nm. **Estos resultados sugieren que la luz UVC de 222 nm puede ser una forma segura y eficaz de reducir la tasa de infecciones del sitio quirúrgico y de otras heridas.**

[3] ESTUDIO DE EFICACIA GERMICIDA / ESTUDIO DE SEGURIDAD

Eficacia germicida y seguridad para la piel de los mamíferos de la luz UV de 222 nm.

Título original: *Germicidal Efficacy and Mammalian Skin Safety of 222-nm UV Light.*

Autores: Manuela Buonanno, Brian Ponnaiya, David Welch, Milda Staislauskas, Gerard Randers-Pehrson, Lubomir Smilenov, Franklin D Lowy, David M Owens, David J Brenner

Fecha de publicación: Febrero de 2017.

Link: <https://bit.ly/B4H0131>

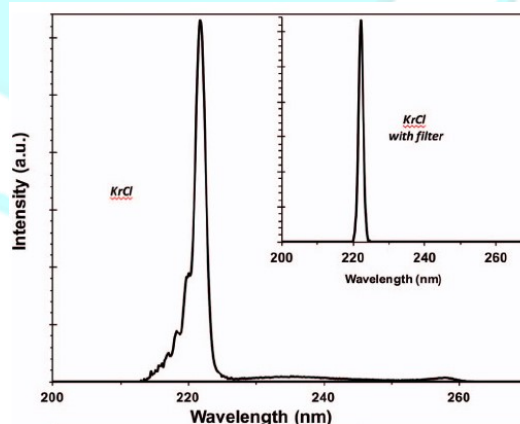
Responsables de los dos estudios posteriores en los que demostraron que la UV de 207 nm tiene propiedades antimicrobianas similares a las de la luz UV germicida típica (254 nm), pero sin inducir daños en la piel de los mamíferos.

El fundamento biofísico se basa en la limitada distancia de penetración de la luz de 207 nm en las muestras biológicas (por ejemplo, el estrato córneo) en comparación con la de la luz de 254 nm. Aquí amplían los estudios anteriores a la luz de 222 nm y prueban la hipótesis de que existe una ventana de longitud de onda estrecha en la región de UVC lejana, de alrededor **de 200-222 nm, que es significativamente perjudicial para las bacterias, pero sin dañar las células de los tejidos.**

Utilizan una lámpara de excimer de criptón-cloro (Kr-Cl) que produce luz UV de 222 nm con un filtro de paso de banda para eliminar los componentes de longitud de onda inferior y superior. En relación con los controles respectivos, se midió:

1. la eliminación in vitro del *Staphylococcus aureus* resistente a la meticilina (MARS) en función de la fluencia UV;
2. los rendimientos de las principales lesiones premutagénicas del ADN asociadas a la radiación UV (dímeros de pirimidina de ciclobutano y fotoproductos 6-4) en un modelo de tejido cutáneo humano en 3D in vitro;
3. ocho puntos finales de daño celular y molecular de la piel en ratones sin pelo expuestos in vivo.

Se realizaron comparaciones con los resultados de una lámpara germicida UV convencional de 254 nm utilizada como control positivo. La luz UVC de 222 nm mata eficazmente al SARM pero, a diferencia de las lámparas UV germicidas convencionales



(254 nm), no produce casi ninguna lesión premutagénica del ADN asociada a la UV en un modelo de piel humana en 3D y no es citotóxica para la piel de mamíferos expuesta.

La luz UVC lejana **en el rango de 200-222 nm mata eficazmente a las bacterias independientemente de su capacidad de resistencia a los medicamentos**, pero sin los efectos dañinos para la piel asociados a la exposición UV germicida convencional.

[2] ESTUDIO DE EFICACIA GERMICIDA

Luz UV de 207 nm: una herramienta prometedora para la reducción segura y de bajo coste de las infecciones del sitio quirúrgico. II: Estudios de seguridad in vivo.

Título original: *207-nm UV Light-A Promising Tool for Safe Low-Cost Reduction of Surgical Site Infections. II: In-Vivo Safety Studies.*

Autores: Manuela Buonanno, Milda Stanislauskas, Brian Ponnaiya, Alan W. Bigelow, Gerhard Randers-Pehrson, Yanping Xu, Igor Shuryak, Lubomir Smilenov, David M. Owens and David J. Brenner

Fecha de publicación: Junio de 2016.

Link: <https://bit.ly/B4H0132>

Esta es la fase 2 del estudio señalado debajo de este. **La fase 1 del estudio se realizó in vitro, mientras que la fase 2 se realizó in vivo.**

En este estudio se expuso a ratones sin pelo a una dosis de 157mJ/cm² utilizando una lámpara Krypton-Bromine Far-UVC filtrada con una longitud de onda máxima de 207nm. La misma especie de ratones también fue expuesta a una luz UVC convencional de 254nm.

Mientras que la exposición convencional a la UVC de 254 nm produjo daños significativos en la piel de los ratones, **la misma dosis de luz Far-UVC de 207 nm produjo resultados estadísticos de los controles de exposición cero a la UV.**

[1] ESTUDIO DE EFICACIA GERMICIDA

Luz UV de 207 nm: una herramienta prometedora para la reducción segura y de bajo coste de las infecciones del sitio quirúrgico. I: Estudios in vitro.

Título original: *207-nm UV Light - A Promising Tool for Safe Low-Cost Reduction of Surgical Site Infections. I: In Vitro Studies.*

Autores: Manuela Buonanno, Gerhard Randers-Pehrson, Alan W. Bigelow, Sheetal Trivedi, Franklin D. Lowy, Henry M. Spotnitz, Scott M. Hammer, and David J. Brenner

Fecha de publicación: Octubre de 2013.

Link: <https://bit.ly/B4H0133>

El estudio concluye que la luz filtrada del UVC lejano mata a las bacterias con eficacia, pero no parece ser significativamente citotóxica o mutagénica para las células humanas.

Las opiniones, resultados y conclusiones o recomendaciones expresadas en este material son las de los autores y no reflejan necesariamente las de B4Health.

The logo for B4 Health features the text "B4 Health" in a bold, white, sans-serif font. The "B4" is positioned to the left of "Health". The text is centered over a large, light blue circular graphic composed of several concentric, slightly offset rings, creating a sense of depth and a futuristic or scientific aesthetic.

B4 Health