

ARTÍCULOS ORIGINALES

REVISTA ARGENTINA
DE SALUD PÚBLICA

ISSN 1853-810X

FECHA DE RECEPCIÓN: 30 de noviembre de 2023

FECHA DE ACEPTACIÓN: 23 de octubre de 2024

FECHA DE PUBLICACIÓN: 9 de diciembre de 2024

FUENTE DE FINANCIAMIENTO: Fondos propios del Centro de Investigaciones en Física e Ingeniería del Centro de la Provincia de Buenos Aires (CIFICEN, UNCPBA-CICPBA-CONICET); PIP2021 - CONICET 0091; Préstamo BID-PICT 2016 N° 4408.

***AUTOR DE CORRESPONDENCIA:**

cdangelo@exa.unicen.edu.ar

REGISTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES EN SALUD N°: IN007086

CARACTERIZACIÓN DE UNA FUENTE DE LUZ UV-C RECICLADA DE BAJO COSTO Y EVALUACIÓN DE SU ACTIVIDAD GERMICIDA CONTRA BACTERIAS Y VIRUS

Characterization of a low-cost recycled UV-C light source and assessment of its germicidal activity against bacteria and viruses

* **Cristian D'Angelo**^{1,2}. Dr. en Física.
Laureano Schofs^{1,3}. Médico Veterinario.
Guadalupe de Yaniz^{1,3}. Veterinaria, Máster en Sanidad Animal.
Claudio Cacciato^{1,3}. Lic. en Ciencias Biológicas.
Sandra Pérez³. PhD en Ciencias Biomédicas Integrativas.
Silvina Gutiérrez^{1,3}. Dra. en Ciencia Animal.
Guillermina Dolcini^{1,3}. Dra. en Ciencia Animal, Dra. en Microbiología.
Sergio Sánchez Bruni^{1,3}. Dr. en Ciencia Animal.
Marcelo Lester^{1,2}. Dr. en Física.

¹ Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA), Argentina.

² Centro de Investigaciones en Física e Ingeniería del Centro de la Provincia de Buenos Aires (CIFICEN, UNCPBA-Comisión de Investigaciones Científicas de la Pcia. de Bs. Aires, CICPBA-CONICET), Argentina.

³ Centro de Investigación Veterinaria de Tandil (CIVETAN, UNCPBA-CICPBA-CONICET), Argentina.

RESUMEN. INTRODUCCIÓN: A partir de la pandemia de COVID-19 ha aumentado la demanda de la radiación UV-C como agente desinfectante para superficies y espacios cerrados. Si bien este mecanismo de desinfección es muy conocido, los dispositivos utilizados son muy voluminosos y costosos. Este estudio abordó una fuente UV-C fiable, versátil, accesible y de muy bajo costo. El objetivo principal fue caracterizar y evaluar la eficacia germicida de una fuente de UV-C, constituida por un bulbo de cuarzo que se encuentra en el interior de las lámparas comerciales de iluminación pública. MÉTODOS: Para la caracterización espectral, se utilizó un monocromador Acton Research Corporation VM-504 y se midió la irradiancia con un sensor específicamente diseñado y construido. Para analizar la acción germicida, se hicieron estudios de radiación sobre diferentes cepas de bacterias y virus. Se estudiaron y compararon las características espectrales de la fuente elegida respecto a la comercial. Se evaluó el poder bactericida y viricida en muestras de laboratorio, verificado con cuatro tipos de bacterias y un virus. RESULTADOS: Se demostró que la radiación generada por esta fuente eliminó al conjunto de bacterias en 30 segundos de exposición y en 1 minuto para el caso del virus, ambos ensayos a una distancia de 300 mm. DISCUSIÓN: Con esto, se igualó el poder germicida de una fuente comercial e incluso se la superó en algunos casos.

PALABRAS CLAVE: Desinfección; Bajo Costo; UV-C; Bactericida; Viricida

ABSTRACT. INTRODUCTION: Since the COVID-19 pandemic, there has been an increased demand for UV-C radiation as a disinfectant agent for surfaces and enclosed spaces. While this disinfection mechanism is well-known, the devices used are very large and expensive. This study addressed a reliable, versatile, accessible and very low-cost UV-C source. The main objective was to characterize and evaluate the germicidal efficacy of a UV-C source, consisting of a quartz bulb found inside commercial public lighting fixtures. METHODS: For spectral characterization, an Acton Research Corporation VM-504 monochromator was used and irradiance was measured with a specifically designed and manufactured sensor. To analyze the germicidal action, radiation studies were carried out on different strains of bacteria and viruses. The spectral characteristics of the chosen source were studied and compared to the commercial one. The bactericidal and virucidal power was evaluated in laboratory samples, confirmed with four types of bacteria and one virus. RESULTS: It was demonstrated that the radiation generated by this source eliminated all bacteria within 30 seconds of exposure and within 1 minute in the case of the virus, both tests at a distance of 300 mm. DISCUSSION: This equaled or even surpassed the germicidal power of a commercial source in some cases.

KEY WORDS: Disinfection; Low Cost; UV-C; Bactericidal; Viricidal

ARTÍCULOS ORIGINALES - D'Angelo C y col. Caracterización de una fuente de luz UV-C reciclada de bajo costo y evaluación de su actividad germicida contra bacterias y virus. *Rev Argent Salud Publica.* 2024;16:e132.

INTRODUCCIÓN

Desde hace varias décadas, se sabe que la línea predominante del Hg I (mercurio neutro) en UV-C es la 254 nm y es un potente inactivador de patógenos¹⁻⁵. Con la pandemia de COVID-19, ha aumentado la demanda de la radiación UV-C como agente desinfectante para superficies y espacios cerrados. Las lámparas germicidas son dispositivos de desinfección conocidos, que se utilizan o se proponen para el uso en diferentes ámbitos vinculados a la salud, la investigación científica y la industria. No obstante, los dispositivos comerciales comúnmente empleados para tal fin (lámparas de mercurio de baja presión) son muy voluminosos y costosos según la lámpara usada^{3,4}.

Actualmente, en el mercado existen tubos de descarga de mercurio de baja presión para este propósito (con una línea espectral bien definida en 254 nm), así como fuentes de estado sólido centradas espectralmente en 260 nm y 280 nm^{4,5}. El presente trabajo estudió una fuente UV-C fiable y versátil (utilizada en lámparas de iluminación pública) capaz de emitir esta radiación (además de UV-A y UV-B), con la ventaja de ser fácilmente accesible y tener un bajo costo en comparación con las fuentes diseñadas específicamente para este propósito.

La irradiancia de esta fuente muestra un interesante espectro de emisión, con muchas líneas y un alto fondo entre 220 nm y 280 nm. Asimismo, se la compara con el espectro de una fuente comercial, que tiene una probada acción desinfectante (ver información complementaria, Anexo A1 <https://rasp.msal.gov.ar/index.php/rasp/libraryFiles/downloadPublic/78>).

El objetivo principal fue caracterizar y evaluar la eficacia

germicida de una fuente de UV-C, constituida por un bulbo de cuarzo que se encuentra en el interior de las lámparas comerciales de iluminación pública.

MÉTODOS

Detalles experimentales para la caracterización de la fuente

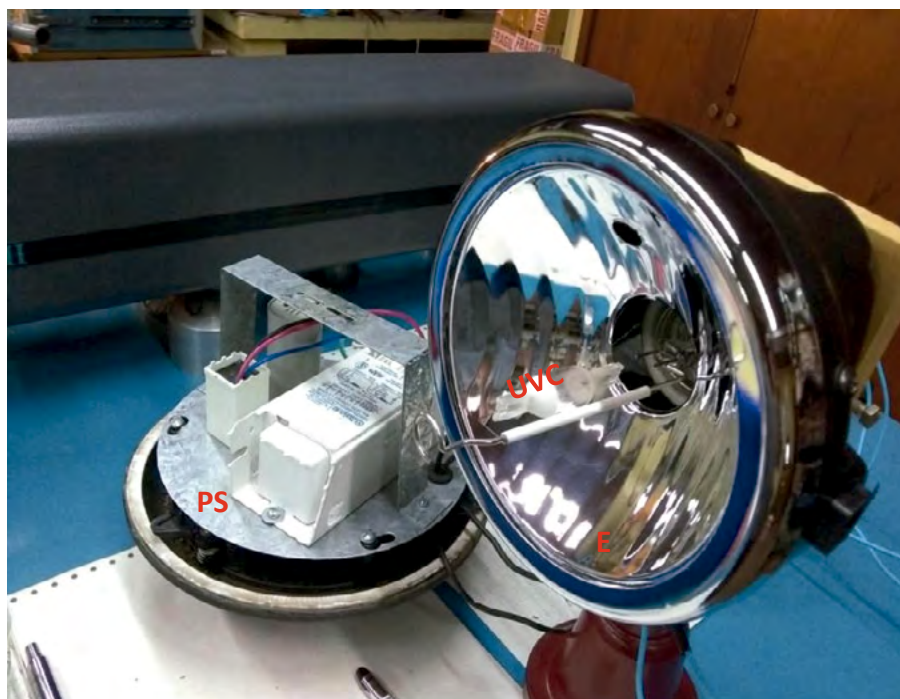
Esta fuente de UV es un bulbo de cuarzo que contiene gas de Hg a baja presión, en donde se genera un plasma que alcanza altas temperaturas. Tiene un diámetro de 15 mm y una longitud de 28 mm, y se encuentra en el interior de las lámparas comerciales de iluminación pública, que queda expuesto cuando se retira la cubierta exterior de la lámpara. Para este estudio se utilizó una lámpara de un consumo nominal de 120 W.

La Figura 1 muestra la configuración experimental empleada con una óptica parabólica. La fuente UV se encuentra en el foco de un espejo parabólico (E) de un diámetro de 150 mm. A la izquierda, se muestra la fuente de alimentación (PS). El espejo hace que la densidad de potencia sea direccional y casi uniforme hasta una distancia de aproximadamente 70 cm del foco del sistema óptico.

Para caracterizar esta fuente de emisión se realizó un análisis espectral y la medición de la irradiancia en la región UV en diferentes situaciones. El análisis espectral de la fuente se efectuó con un monocromador Acton Research Corporation VM-504 acoplado a una matriz de fotodiodos lineales no intensificada RY-1024 de Princeton Instruments Inc. USA (más detalles en información complementaria, Anexo A1) [<https://rasp.msal.gov.ar/index.php/rasp/libraryFiles/downloadPublic/78>].

La medición de la irradiancia se llevó a cabo utilizando

FIGURA 1. Configuración experimental (la fuente UV-C se encuentra en el foco de un espejo parabólico E; la figura también muestra la fuente de alimentación externa PS).



un dispositivo diseñado y desarrollado específicamente para este propósito. El sensor de UV-C es un fotodiodo tipo Schottky modelo SD008-2161-112 fabricado por Advanced Photonix®. La curva de irradiancia calibrada en las unidades correspondientes se obtuvo a partir de los datos descritos en la hoja de datos del fotodiodo6 junto con el espectro de la fuente (más detalles en información complementaria, Anexo A2) [<https://rasp.msal.gov.ar/index.php/rasp/libraryFiles/downloadPublic/78>].

Se hicieron análisis de irradiancia tanto con la fuente puntual como con la incorporación de un reflector y se registraron datos de estas mediciones en diferentes distancias. Su eficiencia desinfectante se probó en el laboratorio con cuatro tipos de bacterias (*Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomona aeruginosa* y *Bacillus stearothermophilus*) y un virus de ADN envuelto (herpesvirus bovino alfa 1 [BoHV-1], cepa Cooper).

Cepas bacterianas

Para evaluar la actividad bactericida de la fuente se utilizaron *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomona aeruginosa* productora de biofilm y *Bacillus stearothermophilus* productora de esporas. En una atmósfera ordinaria, cada cepa bacteriana fue cultivada en agar de soja triptona (TSA, Laboratorio Britania, Buenos Aires, Argentina) durante 18 horas a 35 °C en una atmósfera de aire. Se preparó una suspensión bacteriana en solución fisiológica estéril para ajustar la opacidad a 0,5 de la escala de McFarland. Luego se realizaron diluciones para alcanzar la concentración bacteriana necesaria y facilitar la estimación de las unidades formadoras de colonias (UFC). Se inoculó 100 µL de la dilución de trabajo en placas que contienen TSA y se extendió en la superficie del agar utilizando un esparcidor de Digralsky. Las placas inoculadas con cada cepa bacteriana en triplicado se colocaron a 300 mm de la fuente y se irradiaron con luz UV durante 30, 60, 150, 300 y 600 segundos. Por otro lado, se conservaron tres placas inoculadas con cada cepa bacteriana sin exposición como control. Todas las placas se incubaron durante 48 horas a 35 °C en una atmósfera de aire. Se estimó el número de UFC por cm² y se compararon con los grupos

de control para cada cepa bacteriana en cada tiempo de exposición a UV.

Preparación del virus

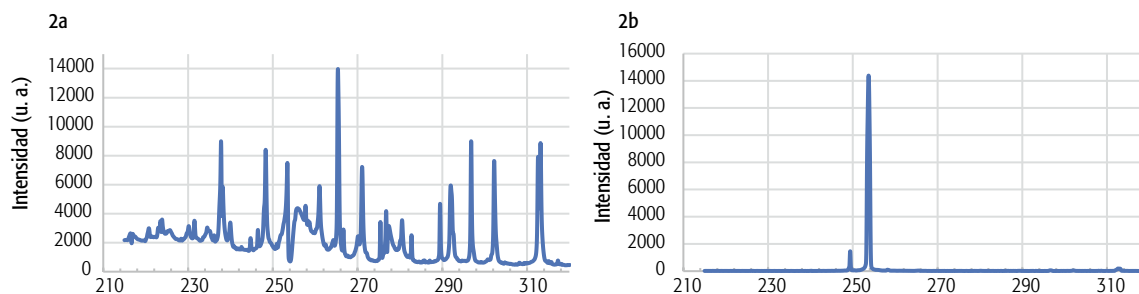
Se utilizó la cepa Cooper del virus bovino BoHV-1 para evaluar la actividad antiviral de la fuente UV-C. El BoHV-1 (400 µL) se aerosolizó en placas de Petri de vidrio de 60 mm y se expuso a UV durante 30, 60 y 300 s. De manera similar, las placas se aerosolizaron con medio de cultivo (medio mínimo esencial, MEM) y se expusieron al mismo tratamiento. También se prepararon placas similares aerosolizadas como controles sin exposición; cada experimento se realizó por triplicado. Con hisopo, se tomó una muestra de la superficie de las placas expuestas y no expuestas. Las muestras se colocaron inmediatamente en 500 µL de MEM para el aislamiento del virus, donde se utilizaron monocapas preformadas de células renales bovinas de Madin Darby (MDBK) en placas de 96 pocillos. Cada muestra fue inoculada por triplicado, y las placas se observaron durante 96 horas para determinar la aparición de efecto citopático viral (CPE). Se recolectaron los sobrenadantes cuando se detectó CPE, y los títulos de BoHV-1 en los sobrenadantes se determinaron mediante el método de Reed y Muench⁷ y se expresaron como TCID₅₀/ml. Los títulos de BoHV-1 en los diferentes grupos de tratamiento se analizaron mediante ANOVA, seguido del test de Tukey. El presente trabajo no requirió la evaluación de un comité de ética de investigación debido a que no participaron seres humanos, por ende, no requirió la utilización de consentimiento informado.

RESULTADOS

Caracterización de la fuente.

Los espectros de emisión de la fuente en estudio y de un tubo UV germicida comercial (para referencia) se registraron en un rango de 215 a 320 nm, tal como se muestran en las Figuras 2a) y 2b). Estos límites espectrales coinciden con la función de respuesta del sensor de irradiancia (más detalles en información complementaria, Anexo A2) [<https://rasp.msal.gov.ar/index.php/rasp/libraryFiles/downloadPublic/78>], y el análisis de la emisión espectral muestra principalmente

FIGURA 2. a) Espectro de la fuente en el rango de 215 nm a 320 nm. La autoabsorción de la línea a 254 nm (depresión pronunciada) es característica de un plasma ópticamente espeso. b) Espectro de la lámpara comercial utilizada en esterilización, en el rango de 215 nm a 320 nm. Se observa claramente la línea a 254 nm, característica de la emisión de Hg I correspondiente a condiciones de plasma delgado. En ambos casos, los límites espectrales se eligieron en función de la respuesta del sensor UV Advanced Photonix modelo SD008-2161-112 fotodiodo, con el cual se mide la irradiancia (curva de calibración).



la existencia de líneas de Hg I⁸ para ambas fuentes. Dentro de esta zona espectral, la línea 254 nm es típicamente la más intensa y es conocida como línea germicida, pero se puede ver que en la lámpara en estudio está presente con un alto grado de absorción. Esto se debe a que la fuente de emisión se ajusta a un modelo de plasma con alta concentración de emisores (átomos de Hg), por lo que en pleno régimen de funcionamiento presenta un alto espesor óptico, actuando como un plasma ópticamente grueso^{9,10} (más detalles en información complementaria, Anexo A1) [<https://rasp.msal.gov.ar/index.php/rasp/libraryFiles/downloadPublic/78>]. Estas condiciones establecen un ensanchamiento de líneas con mesetas bien marcadas, incluyendo efecto de disminución de intensidades en las líneas más fuertes debido al fenómeno de autoabsorción y a los efectos Doppler y Stark⁹⁻¹², lo que no se observa en el espectro del tubo comercial (ver Figuras 2a y 2b). Para complementar con el estudio óptico, se realizaron mediciones de irradiancia en función de la distancia tanto para un tubo comercial como para la fuente de UV estudiada, tal como se puede ver en la Figura 3. Para el caso del tubo UV, los puntos de registro se ubicaron en una línea perpendicular respecto a su eje, que pasa por su mitad, mientras que para la otra fuente se midió la distribución espacial de la irradiancia en función de la distancia a ella. Comparativamente, la irradiancia es mayor para la fuente en estudio que para el tubo comercial a distancias cortas y similar a distancias largas.

También se realizaron registros de irradiancia para determinar la influencia del reflector; cabe destacar que la fuente sin el reflector se comportó como una fuente puntual. En esta etapa se compararon las irradiancias en un plano a una distancia de 300 mm para la fuente con y sin reflector. En este caso, la irradiancia sin el reflector disminuye en un orden de magnitud en comparación con la fuente con reflector en el mismo plano de observación. La irradiancia obtenida de la fuente con reflector es de 13,2 W/m² (en promedio) en una superficie plana y circular de 200 mm de diámetro, mientras que para la fuente sin espejo la irradiancia es de aproximadamente 2,8 W/m² sobre una esfera de radio de 300 mm (aumentando su valor hacia la fuente). Luego se realizaron registros de irradiancia con respecto a una línea transversal al eje del reflector. La curva de irradiancia registrada muestra un área iluminada que tiene simetría rotacional, y se puede ver una zona de iluminación con una ligera variación de irradiancia que abarca aproximadamente 300 mm de diámetro. La irradiancia registrada varía muy poco entre los 600 y 300 mm de distancia a la fuente. También se observó una caída abrupta de ella para distancias mayores a 150 mm desde el centro de la zona iluminada, debido principalmente a la forma parabólica del espejo. A una distancia de 900 mm de la fuente, la irradiancia disminuye aproximadamente un 17 % en la zona central, mostrando una irradiancia no uniforme. Las asimetrías observadas en las curvas se deben a que la fuente no es puntual. Un desarrollo más detallado

se encuentra en la información complementaria, Anexo 1 [<https://rasp.msal.gov.ar/index.php/rasp/libraryFiles/downloadPublic/78>].

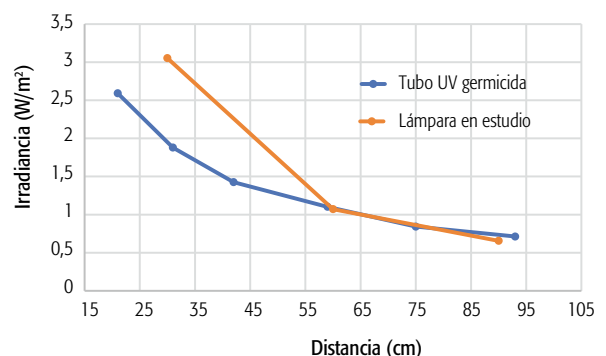
Con esta configuración final con reflector, fue posible obtener una irradiancia promedio de UV-C de 13,2 W/m² a una distancia de entre 300 mm y 500 mm de la fuente, iluminando un área constante de unos 0,071 m².

Estudio de la actividad germicida en bacterias

Se estudió el poder germicida de la fuente con el reflector, y los resultados se comparan con los de las referencias^{2,5,13-16}, que recopilan datos de más de 50 autores sobre la inactivación de microorganismos, bacterias y virus mediante radiación UV-C.

La Figura 4 muestra el número de UFC por cm² de *S. aureus* (4a), *E. coli* (4b), *P. aeruginosa* (4c) y *B. stearothermophilus* (4d) en diferentes tiempos de exposición a la luz UV. Excepto en una placa de *B. stearothermophilus* expuesta durante 30 s a la radiación UV, donde quedó una UFC viable, ninguna de las placas inoculadas mostró crecimiento bacteriano después del período de incubación de 48 horas. Se observaron reducciones en las UFC/cm² de alrededor de dos logaritmos de magnitud para todas las cepas evaluadas en las placas tratadas con radiaciones UV, con respecto a las placas control. El mencionado descenso de la viabilidad de las cepas bacterianas en un 99,9 % se mantuvo constante durante todos los tiempos post-tratamiento evaluados, sin observarse recrecimiento. Todos los estudios se llevaron a cabo a temperatura ambiente y en cámaras esterilizadas. En todos los casos, el 100 % de las bacterias evaluadas son eliminadas en menos de 30 s. Es interesante destacar que en el trabajo de Marasini¹⁵ se obtuvo una desactivación del 100 % de *P. aeruginosa* (resistente a la meticilina) después de 5 s de exposición al UV-C (265 nm) con una irradiancia de 19,3 W/m² a una distancia entre la fuente y la muestra de 8

FIGURA 3. Valores de irradiancia en función de la distancia para un tubo comercial de UV tradicional (utilizado en saneamiento) y la fuente de UV estudiada. En el caso del tubo de UV, los puntos de registro de distancia se ubicaron en una línea transversal y en el centro de su eje. Comparativamente, la irradiancia fue mayor para la fuente puntual que para el tubo comercial de UV a distancias cortas y comparable a distancias largas.



mm para un spot de 4 mm de diámetro. En este trabajo, para la misma bacteria se obtuvo una desactivación del 100 % en menos de 30 s a 300 mm con un spot de 300 mm de diámetro (Figura 4c). La diferencia entre las densidades de potencia se debe a la fuente de UV-C usada. Los fotones, con una energía cercana a 4,77 eV (260 nm), evitan la replicación del ADN y ARN bacteriano, lo que hace imposible su reproducción. Como se puede observar en la Figura A1-1a) del Anexo A1 [<https://rasp.msal.gov.ar/index.php/rasp/libraryFiles/downloadPublic/78>], el espectro de la fuente bajo estudio muestra picos de emisión de entre 240 nm y 260 nm, lo que la hace muy eficiente para la formación de dímeros de ADN^{1,2}.

Estudio de la actividad germicida en virus

Después de 24 horas de la inoculación de las muestras, solo se observó CPE en las células inoculadas con muestras obtenidas de las placas aerosolizadas con el virus que no fue expuesto al UV-C (control positivo). No se observó CPE en las células inoculadas con MEM (control negativo) o con BoHV-1 expuesto al UV-C. En las muestras de las placas aerosolizadas con BoHV-1, expuestas a la luz durante 30 s, se observó un CPE leve después de 48 horas de incubación. El título viral fue significativamente menor ($p < 0,05$) que los títulos de BoHV-1 de las placas no expuestas (ver Figura 5a).

En las placas expuestas a luz UV-C durante 1 y 5 minutos, no se detectó CPE viral después de 96 horas de observación, mientras que los títulos de BoHV-1 en las placas de control no expuestas son de 106,22 y 105,89 TCID₅₀/

mL a 1 y 5 minutos de exposición ($p < 0,05$). Como era de esperar, no se detectó replicación viral en los controles con MEM (ver Figuras 5b y 5c).

En definitiva, esta fuente UV-C muestra una alta eficiencia germicida tanto para bacterias como virus a una distancia de 300 mm de la superficie a tratar.

DISCUSIÓN

Este estudio demostró que es posible obtener una fuente UV de bajo costo, confiable y altamente eficiente a partir de una lámpara comercial utilizada en iluminación pública (incluso se puede encontrar como desecho, ya que este tipo de lámpara ha sido reemplazada por un sistema de iluminación más eficiente, como la iluminación LED). La vida útil de este tipo de lámpara es de aproximadamente 20 000 horas en promedio, lo que le agrega valor a la fuente.

Este estudio se realizó con una lámpara comercial de potencia nominal de 120 W, a partir de la cual se pudo obtener una fuente UV-C eficiente con una irradiancia de aproximadamente 13,2 W/m², a una distancia de 300 mm (sobre una superficie plana) utilizando un espejo parabólico como colimador, y alrededor de 2,8 W/m² (4π radianes) como fuente puntual para la misma distancia. Cabe destacar que todas las pruebas se hicieron sobre superficies planas. Se ha comprobado que una iluminación inhomogénea o sombras proyectadas sobre las muestras disminuyen significativamente la eficiencia del dispositivo. Por ello, para asegurar un óptimo rendimiento de la fuente hay que prestar especial atención al tratamiento de superficies visiblemente rugosas o con intersticios, donde la fuente queda eclipsada. Aunque no fue mencionado

FIGURA 4. Efecto de diferentes tiempos de exposición a la irradiación UV-C en la viabilidad de distintas bacterias: a) de *S. aureus*, b) de *E. coli*, c) de *P. aeruginosa*, d) de *B. stearothermophilus*.

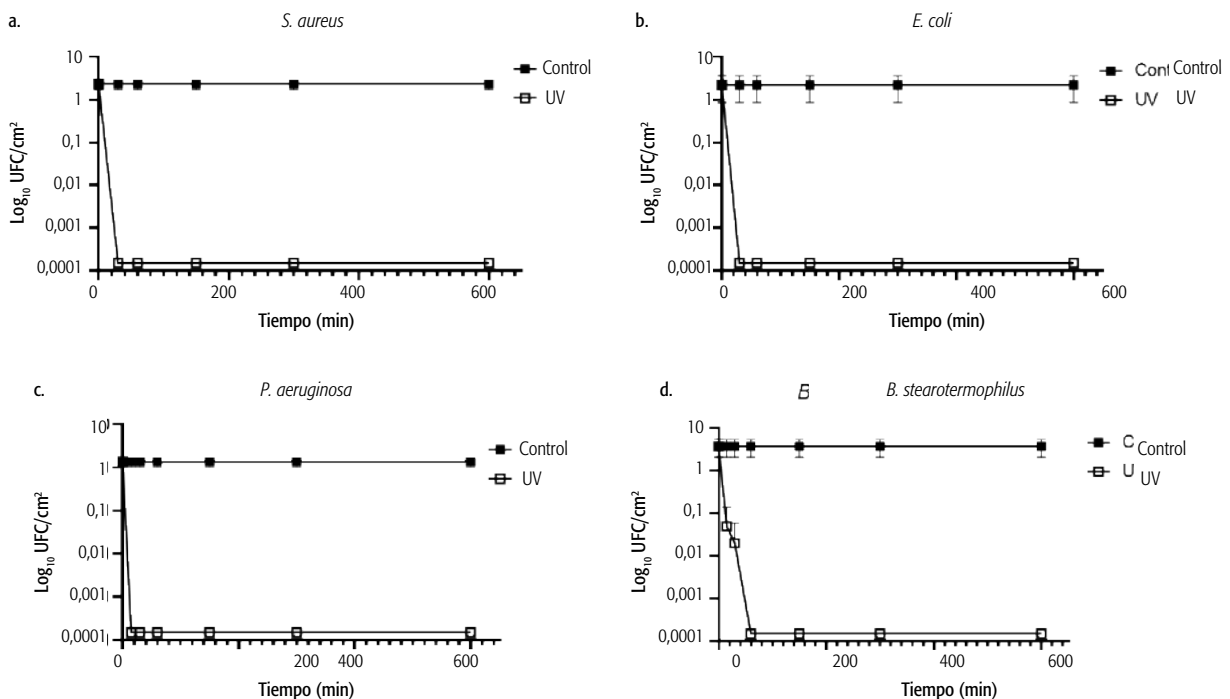
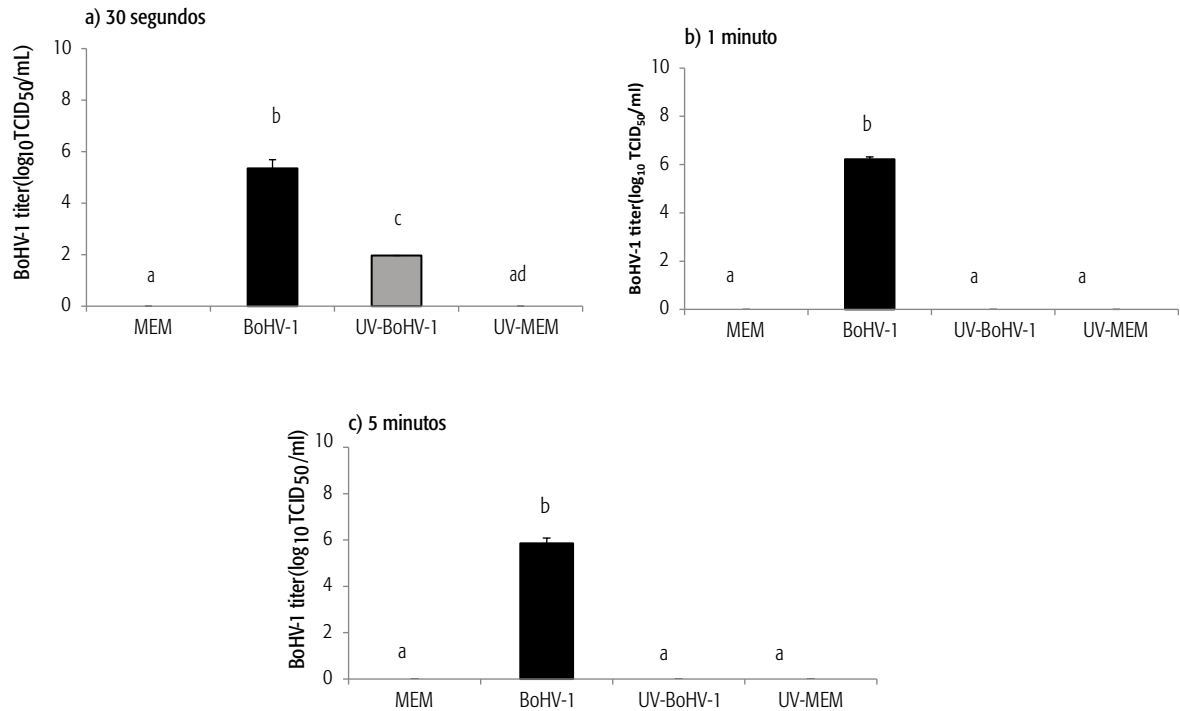


FIGURA 5. Títulos de BoHV-1 (expresados como TCID₅₀/ml) en placas de Petri expuestas o no expuestas a luz UV-C. Diferentes letras indican diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($p < 0,05$).



anteriormente, debido a la alta densidad de potencia de la fuente es esencial proteger la totalidad de la piel expuesta y los ojos. La exposición (aun por períodos cortos) a esta radiación produce serios daños en la piel y los ojos.

Para comparar su eficiencia germicida con otras fuentes diseñadas específicamente para cumplir esta función, se irradiaron cuatro bacterias diferentes (*S. aureus*, *E. coli*, *P. aeruginosa* y *B. stearothermophilus*) y un virus (BoHV-1). En particular, a una distancia de 300 mm de la fuente con reflector, se obtuvo una esterilidad bacteriana del 100 % en cada una de las muestras después de 30 s de irradiación. Al mismo tiempo, el virus se inactivó después de 1 minuto de irradiación a la misma distancia.

Las líneas naturales de Hg I se ensanchan, ya que se obtienen a partir de un plasma de alta temperatura. En particular, la línea llamada "germicida 254" se reabsorbe, pero las emisiones de entre 230 nm y 260 nm se potencian. La energía de los fotones para esta zona del espectro (entre 230 nm y 260 nm) dimeriza el ADN y el ARN, destruyendo al germen. Esta característica de la fuente la hace eficiente como agente germicida.

Actualmente, esta fuente UV se está estudiando para su uso en reactores experimentales para purificar aguas residuales industriales. Específicamente, se está imple-

mentando como catalizador en la Técnica de Oxidación Avanzada (AOT), acelerando los procesos de tratamiento de aguas con colorantes orgánicos.

RELEVANCIA PARA POLÍTICAS E INTERVENCIONES SANITARIAS

La relevancia principal de este trabajo está centrada en la posibilidad de implementar un método eficaz y conocido de esterilización de superficies por medio de UV. En este caso, a partir de la utilización fuentes de UV de muy bajo costo, (o bien, prácticamente sin costo) al considerar fuentes que provienen del reciclado de las lámparas del sistema iluminación urbana de Hg. En este caso, la mayoría de los municipios están optando a cambiar todo este sistema de alumbrado público por las modernas luminarias LEDs, descartando las lámparas de descargas de H y Na. Si bien su implementación es muy simple y efectiva, cabe destacar la recomendación en los cuidados de su utilización, debido a los peligros de exposición de la piel y la vista al UV-C. Aunque ya es sabido en Normas de Seguridad referidas a la manipulación de lámparas germicidas tradicionales, aquí se destaca aún más debido a los altos valores de irradiancia en los rangos de longitud de onda más corta de UV.

AGRADECIMIENTOS: Al Dr. Alberto Somoza y al Ing. Mariano Scazzo, por sus valiosas discusiones y aportes. ML agradece a Claudio Santiago, Patricio Fernández y Guillermo Saab por su colaboración desinteresada.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERESES: No hubo conflicto de intereses durante la realización del estudio.

CONTRIBUCIÓN DE LAS PERSONAS AUTORAS: Todas las personas autoras han efectuado una contribución sustancial a la concepción o el diseño del estudio o a la recolección, análisis o interpretación de los datos; han participado en la redacción del artículo o en la revisión crítica de su contenido intelectual; han aprobado la versión final del manuscrito; y son capaces de responder respecto de todos los aspectos del manuscrito de cara a asegurar que las cuestiones relacionadas con la veracidad o integridad de todos sus contenidos han sido adecuadamente investigadas y resueltas.

Cómo citar este artículo: D'Angelo C, Schofs L, de Yaniz G, Cacciato C, Pérez S, Gutiérrez S, et al. Caracterización de una fuente de luz UV-C reciclada de bajo costo y evaluación de su actividad germicida contra bacterias y virus. *Rev Argent Salud Pública*. 2024;16:e132. Publicación electrónica 9 de Dic de 2024.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ¹ Harm W. Biological Effects of Ultraviolet Radiation. Nueva York: Cambridge University Press; 1980.
- ² Cheung MS, Dalzadeh I, Stuchebrukhov AA, Heelis PF. Pathways of electron transfer in Escherichia coli DNA photolyase: Trp306 to FADH. *Biophys J*. 1999;76(3):1241-1249. doi: 10.1016/S0006-3495(99)77287-5.
- ³ Lecam MS. Study of UV-C radiation as a method of disinfecting environments and surfaces with focus in preventing COVID-19 contagion. *UVR [Internet]*. 2020 [citado 19 Nov 2024]. Disponible en: https://www.academia.edu/43256014/Study_of_UV_C_radiation_as_a_method_of_disinfecting_environments_and_surfaces_with_focus_in_preventing_COVID_19_contagion
- ⁴ Woo H, Beck SE, Boczek LA, Carlson K, Brinkman NE, Linden KG, et al. Efficacy of inactivation of human enteroviruses by dual-wavelength germicidal ultraviolet (UV-C) light emitting diodes (LEDs). *Water (Basel)*. 2019;11(6):1-1131. doi: 10.3390/w11061131.
- ⁵ Ploydaeng M, Rajatanavin N, Rattanakaemakorn P. UV-C light: A powerful technique for inactivating microorganisms and the related side effects to the skin. *Photodermatol Photoimmunol Photomed*. 2021;37(1):12-19. doi: 10.1111/phpp.12605.
- ⁶ SD008-2161-112 [Internet]. Camarillo (CA): Advanced Photonix; 2019 [citado 19 Nov 2024]. Disponible en: <https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Photonic%20Detectors%20Inc%20PDFs/SD008-2161-112.pdf>
- ⁷ Reed LJ, Muench H. A simple method of estimating fifty percent endpoints. *Am J Hyg*. 1938;27:493-497.
- ⁸ National Institute of Standards and Technology. NIST Atomic Spectra Database Lines Form [Internet]. Gaithersburg (MD): NIST; 2019 [citado 19 Nov 2024]. Disponible en: https://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/lines_form.html
- ⁹ Lochte-Holtgreven W. Plasma Diagnostics. Amsterdam: North Holland Publishing Company; 1968.
- ¹⁰ Griem HR. Principles of Plasma Spectroscopy. First Edit. Hopcrafts KI, Hutchinson IH, Surko CM, Schinder K, Haines MG, editores. Cambridge: University Press; 1997.
- ¹¹ Corney A. The width and shape of spectral lines. En: *Atomic and Laser Spectroscopy*. Corney A, editor. Oxford: Clarendon Press; 1977.
- ¹² Corney A. Radiative transfer and the formation of spectral lines. En: *Atomic and Laser Spectroscopy*. Corney A, editor. Oxford: Clarendon Press; 1977.
- ¹³ Ploydaeng M, Rajatanavin N, Rattanakaemakorn P. UV-C light: A powerful technique for inactivating microorganisms and the related side effects to the skin. *Photodermatol Photoimmunol Photomed*. 2021;37(1):12-19. doi: 10.1111/phpp.12605.
- ¹⁴ Cabral A. Efecto de la radiación ultravioleta sobre la calidad de hortaliza deshidratada [tesis de grado]. Mendoza: Universidad Nacional de Cuyo; 2017.
- ¹⁵ Marasini S. Preclinical confirmation of UVC efficacy in treating infectious keratitis. *Ocul Surf*. 2022;25:76-86. doi: 10.1016/j.jtos.2022.05.004.
- ¹⁶ Sonntag C, Schuchmann HP. UV disinfection of drinking water and by-product formation - some basic considerations. *The Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*. 1992;41(2):67-74.



Esta obra está bajo una licencia de *Creative Commons* Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Reconocimiento – Permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra. A cambio se debe reconocer y citar al autor original. No comercial – esta obra no puede ser utilizada con finalidades comerciales, a menos que se obtenga el permiso.