

Radiación ultravioleta C aplicada a la desinfección de ambulancias

Eduardo Manzano^{1,a}, Martín Ferreira^{2,b}, Daniela Cudmani^{3,c}, Dardo Costa^{3,d}, Marcelo De Nobrega^{1,e}, Ana Gómez Marigliano^{4,f}, Sergio Gor^{1,g}, Leonardo Assaf^{1,h}, Graciela Tonello^{1,i}, Mario Raitelli^{1,j}, Miguel Cabrera^{5,k}

¹ Depto. de Luminotecnia Luz y Visión, FACET, Universidad Nacional de Tucumán – ILAV UNT CONICET, Argentina.

² Depto. de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.

³ Laboratorio de Salud Pública, Ministerio de Salud Pública de la Provincia de Tucumán, Argentina.

⁴ Depto. de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán - INFIOA CONICET, Argentina.

⁵ Dpto. de Ingeniería Eléctrica Electrónica y Computación, Fac. de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.

^a emanzano@herrera.unt.edu.ar, ^b mferreira@herrera.unt.edu.ar, ^c dcudmani@outlook.com, ^d dardocostas@gmail.com

^e mdenogrega@herrera.unt.edu.ar, ^f agomezmarigliano@herrera.unt.edu.ar, ^g sgor@herrera.unt.edu.ar, ^h lassaf@herrera.unt.edu.ar,

ⁱ gtonello@herrera.unt.edu.ar, ^j mraitelli@herrera.unt.edu.ar, ^k mcabrera@herrera.unt.edu.ar

Resumen— Ante la posibilidad de la contaminación de las superficies y el aire en el interior de ambulancias por virus como el SARS-CoV-2 se emplean para la desinfección generalmente químicos. El proceso puede ser complementado con radiación ultravioleta C (UVC). Para ello se estudiaron las tecnologías disponibles y se realizaron mediciones de irradiancia espectral UVC. Se estudiaron las dosis necesarias para la inactivación de virus y la forma más efectiva de irradiar las superficies. Distintas configuraciones en ambulancias y materiales empleados fueron analizados y estudiadas sus propiedades de reflectancia y transmitancia espectral en el UVC. Con dicha información y un modelo en 3D se renderizaron imágenes del interior de la ambulancia irradiadas con un prototipo de UVC desarrollado. Los resultados simulados se compararon con pruebas reales para distintas dosis y test bacteriológicos simultáneos, con lo cual se efectuaron posteriores ajustes en los tiempos de exposición necesarios y se propone un sistema de irradiación preliminar más efectivo.

Palabras clave. UVC para Desinfección, Test UFC con UVC en ambulancias, render de irradiación UVC

Abstract. Surfaces and air inside ambulances can be contaminated by viruses such as SARS-CoV-2. Chemicals are generally used for disinfection. The process can be complemented with ultraviolet C radiation (UVC). For this, the available technologies were studied and UVC spectral irradiance measurements were carried out. The doses required for virus inactivation and the most effective way to irradiate surfaces were studied. Different configurations in ambulances and materials used were analysed and studied their spectral reflectance and transmittance properties in UVC. With that information, a 3D interior ambulance model was built to render images with a program of the irradiance UVC distribution of a prototype. The simulated results were compared with real tests carried out under different irradiations doses and bacteriological examinations. Finally adjustments were made in the irradiation exposure times to achieve a more effective system based in the prototype.

Key Words: Ambulances UVC disinfection, UFC Test with UVC in ambulances, UVC irradiation image render.

1. Introducción

El COVID-19 es la enfermedad respiratoria causada por la infección del virus SARS-CoV-2 que se ha transformado en pandemia debido a su propagación mundial afectando la salud, la vida de un porcentaje de la población y la economía de las naciones. Estudios preliminares indican que la transmisión se produce por el contacto con el spray de gotas expulsadas por personas infectadas al estornudar, toser, hablar

o por contacto con superficies contaminadas al ser alcanzadas por gotas directamente o indirectamente de personas infectadas [1]. Investigaciones de la supervivencia del virus Sars-CoV-2 en distintas superficies indican que puede durar y seguir siendo infeccioso activo hasta 7 días en superficies lisas como plástico, acero inoxidable, vidrio, cerámica y guantes de látex, 5 días en papel, 4 días en ropa de algodón y 24 horas en cartón [2][3]. La inactivación de los coronavirus en superficies puede realizarse desinfectando las superficies con medios químicos como: alcohol al 62-71%, vapor de peróxido de hidrógeno (agua oxigenada) H₂O₂ al 0,5% o hipoclorito de sodio (cuya disolución en agua es conocida como lavandina, cloro o lejía) al 0,1% entre otros [4] y también mediante radiación ultravioleta (UV) dependiendo de la dosis aplicada.

La radiación UV es energía electromagnética de longitud de onda entre 100 y 400nm. Se divide en 4 grupos principales, ver Fig.1 [5], cada uno con un efecto germicida diferente: UV-A (315–400nm), UV-B (280–315nm), UV-C (200–280nm), UV en vacío (100-200nm).

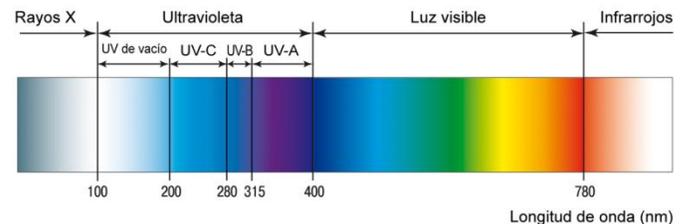


Fig. 1: Espectro de radiación Ultravioleta y UVC de 200 a 280nm [5].

El uso de radiación UV es conocido desde hace más de 60 años para la eliminación de bacterias y en particular la radiación UV-C de 200nm a 280nm para la eliminación de virus en general [6][7]. Actualmente se emplea radiación UV-C para esterilización de: quirófanos, instrumental, de aire en Aire Acondicionadores y de agua en plantas de tratamiento [8][9][10]. Después del proceso de desinfección químico puede aplicarse el UV-C para complementar la desinfección.

2. El efecto germicida del UV

El UV-C es la componente de radiación que más fácilmente absorben el ADN (ácido desoxirribonucleico), el ARN (ácido ribonucleico) y las proteínas. A menudo este intervalo de radiación se conoce como “germicida” dada su alta eficiencia de desinfección frente a las bacterias y a los virus. El efecto germicida se basa en la absorción de fotones por parte de las moléculas de ADN y ARN, cuando la reacción fotoquímica producida provoca la dimerización de los enlaces del ADN y el ARN, que inhibe la capacidad de los microorganismos de replicarse (ver Fig.2). Este proceso se conoce como inactivación de microorganismos [5][8].

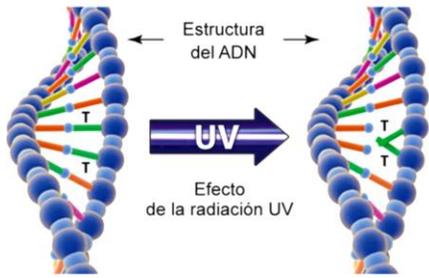


Fig. 2: Efecto de la radiación UV en la absorción de fotones de las moléculas de ADN y ARN de los virus [5][8].

Se debe aclarar que el SARS-CoV-2 no ha sido testeado con UV pero otros corona virus similares lo fueron y se trabaja con dichos resultados para aplicarlos en el virus SARS-CoV-2 por la novedad y riesgo que representa.

La eficacia de una fuente de radiación UV se cuantifica en base a la efectividad germicida del UV frente a la bacteria *Escherichia coli* (ver Fig.3) [11][12][13][14], que es una bacteria que se encuentra en los alimentos y en el medio ambiente. La mayor eficiencia del efecto germicida sobre el ADN de las bacterias de *Escherichia Coli* tiene sus picos en 220nm y entre 260-265nm. Esto puede variar entre especies de bacterias y virus [8]. Se indica además en la Fig. 3 la emisión irradiancia espectral (potencia radiada por unidad de superficie y longitud de onda) de la fuente UV-C de mercurio de baja presión. Cuanto mayor sea la irradiancia $E_e(W/m^2)$ (área bajo la curva de emisión irradiancia espectral) y cuanto mayor sea también el tiempo de exposición $te(s)$ a la misma, mayor será el efecto germicida. El producto de la irradiancia y el tiempo de exposición determinan la dosis de exposición (ver ecuación 1). La Dosis de radiación UV para el 90% de inactivación de virus (D_{90}) depende del tipo de virus y de la humedad relativa. Valores recomendados se indican en la Tabla 1.

$$Dosis = E_e(W/m^2) \cdot te(s) \quad (1)$$

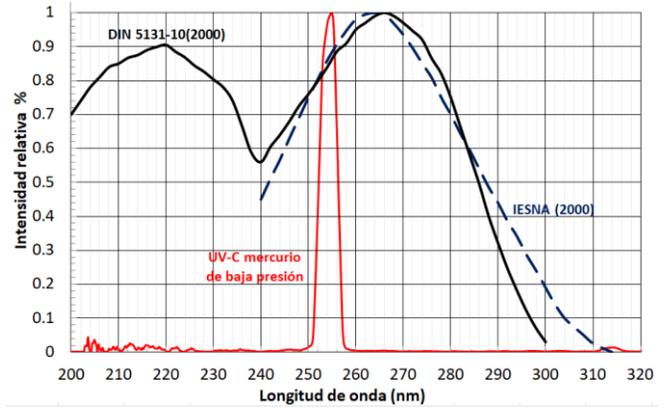


Fig.3: Efectividad germicida del UV frente a la bacteria *Escherichia coli* [11,12,13,14] y emisión espectral de la fuente UV-C de mercurio de baja presión.

Tabla 1: Dosis de radiación UV para el 90% de inactivación de virus [14].

Microbe	D_{90} Dose J/m^2	Source
Coronavirus	7	Walker 2007 ^a
Berne virus (Coronaviridae)	7	Weiss 1986
Murine Coronavirus (MHV)	15	Hirano 1978
Canine Coronavirus (CCV)	29	Saknimit 1988 ^b
Murine Coronavirus (MHV)	29	Saknimit 1988 ^b
SARS Coronavirus CoV-P9	40	Duan 2003 ^c
Murine Coronavirus (MHV)	103	Liu 2003
SARS Coronavirus (Hanoi)	134	Kariwa 2004 ^d
SARS Coronavirus (Urbani)	241	Darnell 2004
Average	67	

^a(Jingwen 2020)

^d(at 3 logs)

D_{90} mínimo varía de 7 J/m^2 a 241 J/m^2 con una media de 67 J/m^2 [16]. Como se observa en la lista hay varios coronavirus, sin embargo no hay datos específicos para el SARS-CoV-2. Por otra parte, la humedad mayor al 70% podría reducir la efectividad de la dosis. ¿Cuál es el valor más adecuado de dosis a emplear?.

El tiempo de exposición puede ahora estimarse en base a la dosis y a la irradiancia según ecuación 2.

$$te(s) = Dosis / E_e(W/m^2) \quad (2)$$

3. Tecnología UVC

Distintos tipos de fuentes de UV son empleadas para desinfección. Fuentes de mercurio de baja (MBP) y de media presión (MMP), lámpara de gas xenón pulsante, fuentes excimer con gas kriptón-Cloro (Kr-Cl) y fuentes LED. La Fig. 4 muestra la irradiancia espectral de la fuente de MBP y de MMP, frente a la efectividad germicida sobre la *Escherichia Coli*.

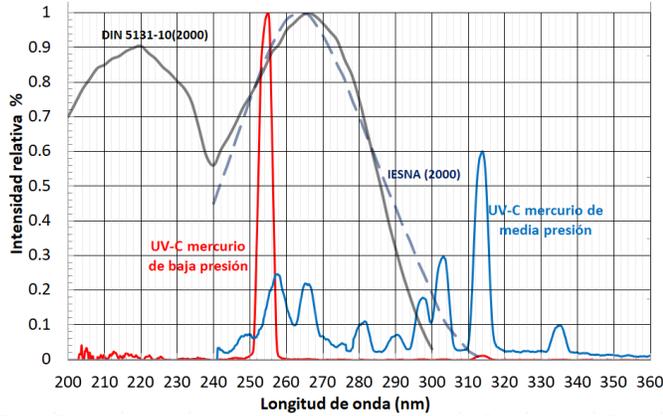


Fig.4: Irradiancias espectrales medidas en el Depto. de Luminotecnia Luz y Visión de la fuentes MBP y MMP frente a la efectividad germicida del Escherichia Coli [11][12].

Aproximadamente el 95% del área dentro de la curva de distribución espectral (irradiancia) es producida en 253,7nm, para la fuente MBP, valor muy cerca de un pico de efectividad germicida sobre la Escherichia Coli [11][12]. En cambio el 79% del área de la distribución espectral (irradiancia) de la fuente MMP se encuentra bajo la curva de Efectividad germicida. Siendo por lo tanto más eficiente como germicida la fuente de MBP. Por otra parte su costo es bajo y está más difundido su uso en distintos formatos y aplicaciones. Como desventaja ambas fuentes contienen mercurio y dependiendo de la dosis su radiación puede afectar ojos y piel de personas expuestas. Cabe destacar que también emiten radiación en 185nm lo que genera ozono que puede producir enfermedades respiratorias. Para evitar la emisión de ozono (que tiene un olor muy característico) el bulbo de vidrio debe estar construido de modo de filtrar la baja emisión de 185nm por ej. con cuarzo dopado fundido. [15].

La fuente de gas de xenón pulsante emite en el UVC y en el UVB siendo su efectividad germicida algo menor al de la fuente MBP [16]. En Fig. 6 se indica la irradiancia espectral de una fuente de gas de xenón pulsante. Las fuentes excimer con gas Kr-Cl emiten en 222nm (ver Fig.7) con efecto germicida similar a la MBP, con la ventaja de producir un menor riesgo de daño en piel y ojos [17].

Las fuentes LED UVC están en un proceso de evolución y posiblemente en poco tiempo reemplacen las fuentes anteriormente mencionadas. Algunas emiten en 222nm con las mismas ventajas anteriormente mencionadas otras entre 265 y 270nm [18].

Por otra parte en las fuentes de MBP y LEDs, la depreciación L80 B50 es del orden de 5.000h a 8.000h., factor que debe ser considerado para mantener las condiciones germicidas.

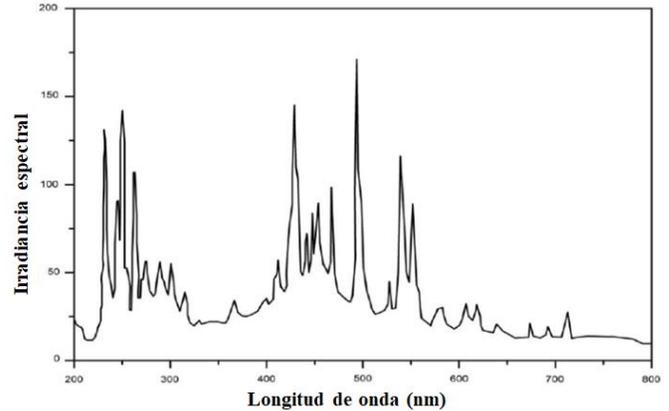


Fig.6: Irradiancia espectral de la fuente de gas de xenón pulsante [16].

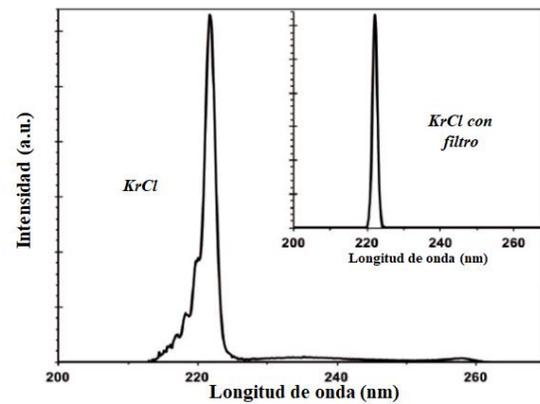


Fig.7: Irradiancia espectral de la fuente excimer Kr-Cl con emisión en 222nm [19].

4. Simulación de irradiancia en una Ambulancia

La simulación de los valores de irradiancia sobre las distintas superficies de una ambulancia es una herramienta muy útil para estimar los tiempos de exposición necesarios en base a la dosis establecida y para poder determinar la configuración más adecuada de alternativas de sistemas de radiación para evitar zonas de sombras de UVC que no permitirían la desinfección adecuada. Como elementos de partida es necesario disponer del modelo en 3D del interior de una ambulancia típica al cual se asociaran las propiedades de reflexión y transmisión espectral del UV-C correspondientes a los materiales que la conforman. Se requiere además la información de cómo distribuye espacialmente la radiación UV-C el sistema de desinfección a utilizar, lo que sería equivalente a la fotometría de una luminaria, es decir, su distribución de intensidades luminosas. Con esta información se puede utilizar un programa de cálculo y simulación de iluminación fotométrico como Dialux [19] para calcular valores de irradiancia (los resultados estarán expresados en lux pero corresponden a W/m²).

A. Intensidad radiante de la fuente UV

La información de cómo distribuye espacialmente la radiación UV-C el sistema de desinfección requiere conocer la intensidad radiante I_e (W/sr). Las magnitudes radiométricas de donde se derivan las fotométricas se indican en Tabla 2, donde I_e es el parámetro radiométrico de donde se deriva la Intensidad luminosa I (cd/m²). Si se elabora un archivo en formato ies [20] o eulumdat [21] que en lugar de contener valores de I (cd/m²) contiene valores de I_e (W/sr) para ser utilizado tal como si fuera una fotometría en el programa de simulación, obtendríamos como resultados de cálculo irradiancia E_e (W/m²) en lugar de iluminancia E (lx).

Tabla 2: Analogía entre magnitudes radiométricas y fotométricas

Magnitud radiométrica	Símbolo unidades	Definición	Magnitud fotométrica	Símbolo unidades	Definición
Energía radiante	Qe Joule=W.s	-	Energía luminosa	Q lm.s	-
Flujo radiante (o potencia)	Øe o Pe W	Øe=dQe/dt	Flujo luminoso	Ø lm	Ø=dQ/dt
irradiancia	Ee W/m ²	Ee=dØe/dA	iluminancia	E lx = lm/m ²	E=dØ/dA
Intensidad radiante	Ie W/sr	Ie=dØe/dΩ	Intensidad luminosa	I cd = lm/sr	I=dØ/dΩ
Radiancia	Le W/(sr.m ²)	Le=dIe/(dA.cosθ)	Luminancia	L cd/m ²	L=dI/dA/cosθ
Exposición radiante	He J/m ²	He =Ee.t	Exposición	H lx.s	H = E.t

Unidad fotométrica = 683.V(λ).Unidad Radiométrica
Magnitudes espectrales: por unidad de longitud de onda, se incorpora /dλ en la definición y /µm o /nm en las unidades

La I_e se puede estimar a partir de la E_e (W/m²) de ecuación 3 donde d es la distancia entre la fuente de radiación y un punto sobre una superficie y γ el ángulo entre la dirección de I_e y la perpendicular a la superficie (ver figura 8). Esto es válido para d mayor a 10 veces el tamaño de la fuente emisora para que sea considerada puntual.

$$I_e = E_e \cdot \cos \gamma / d^2 \text{ (W/sr)} \quad (3)$$

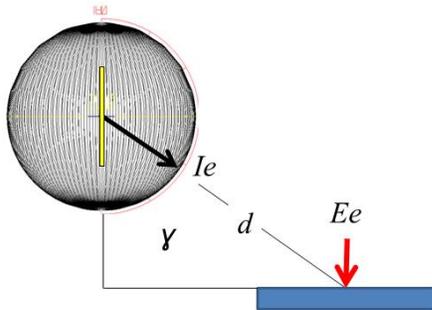


Fig.8: Intensidad radiante I_e e Irradiancia E_e de una fuente uniforme.

Como fuente de radiación UV-C a utilizar en el trabajo fueron seleccionados tubos de MBP de 30W en base a la eficiencia germicida y disponibilidad del mercado. La irradiancia espectral de la fuente en posición vertical fue medida a 2m de distancia perpendicular a la misma (ver Fig. 4) mediante un espectro radiómetro Flame-T Ocean Optics

UV-VIS 200-850nm. La irradiancia obtenida fue: $E_e@2m=0,256$ W/m² con lo cual $I_e = 1,024$ W/sr.

B. Prototipo de sistema de desinfección

Un prototipo fue diseñado para ser utilizado en la desinfección del interior de ambulancias que emplea dos fuentes de UVC de MBP de 30W (ver Fig.10). El sistema apoyado sobre un trípode es regulable en altura. Posee un temporizador digital, un sensor de presencia para evitar su funcionamiento en presencia de personas y un botón luminoso de operación desde el exterior (o control remoto). Se estima en base la medición de $E_e@2m$ realizada con un tubo, que el sistema puede proveer sobre un punto de un área a 1,2m y a 45° respecto del prototipo $E_e=1$ W/ m² con lo cual para una dosis de 241J/m² se requerirá un tiempo de exposición $t_e=4$ minutos.

C. Configuración y materiales de ambulancias

Las ambulancias son recintos reducidos con mobiliario y equipos de alta complejidad en distintos arreglos. En Fig. 9 se muestra una vista desde las puertas traseras de una ambulancia. La radiación UV-C debe llegar a todas las superficies con la dosis mínima necesaria y sin la presencia de sombras.



Fig. 9: Interior de una ambulancia con camilla móvil y portátil, silla de ruedas, asiento tipo butaca, baulera, AA, ventilador, etc.

Los materiales que intervienen fueron estudiados para construir el modelo en 3D lo más próximo posible a la realidad. En general los materiales presentan baja reflexión al UVC del 5-10% salvo superficies de acero inoxidable (35-40%) o aluminio (90-95%)[14]. El cortinado y recibimiento de plástico presenta una transmitancia nula al UV-C de 254nm (ver Fig. 11).



Fig. 10: Interior de una ambulancia visto desde la puertas lateral y detalle del prototipo utilizado ubicado para el test.

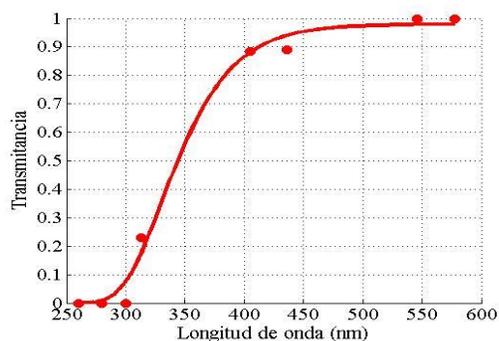


Fig. 11: Transmittancia espectral medida en el Depto. Luminotecnia luz y Visión con fuente MMP en plástico tipo cristal.

D. Simulación de irradiación con prototipo

Con el modelo 3D, los datos de materiales, el archivo ies de las fuentes y una ubicación de un prototipo entre la camilla y la butaca central, se realizaron simulaciones de irradiancias en falsos colores con el programa Dialux, una de las cuales se indica en Fig. 12. Se observa que para una irradiancia mínima de $1\text{W}/\text{m}^2$ quedan superficies que no alcanzarían a ser desinfectadas en un tiempo razonable. Un solo prototipo es insuficiente. Sin embargo en las zonas con $E_e > 1\text{W}/\text{m}^2$ y t_e de 4min mínimos aparentan ser indicados.

5. Test bacteriológico

A fin de verificar la efectividad germicida del UV-C y los tiempos de exposición, el Laboratorio de Salud Pública del Ministerio de Salud de la Prov. de Tucumán, realizó un test de muestreo ambiental con hisopo estéril en el interior de ambulancia sobre la camilla y en el suelo cercano. Los test se realizaron antes y después de irradiar durante 10min y 20min con el prototipo de UV-C ubicado como indica la Fig.10.

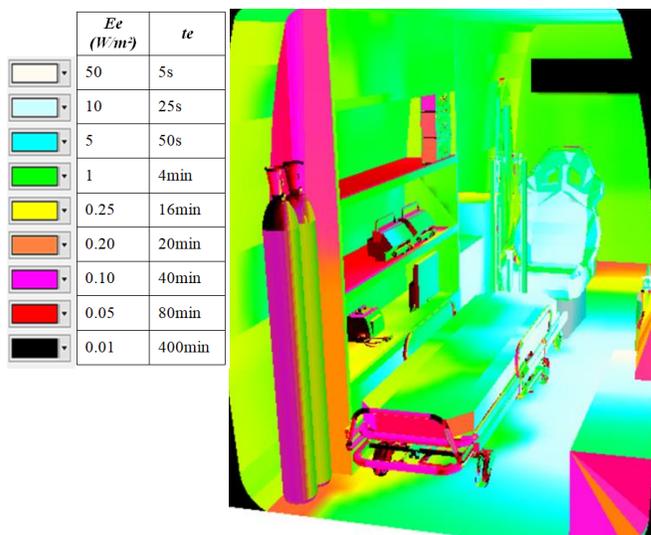


Fig. 12: Simulación con un prototipo, valores de E_e obtenidos y tiempos teóricos de exposición se indican en escala de colores.

Los puntos de muestreo debían recibir una E_e próxima a $1\text{W}/\text{m}^2$. Los muestreos se cultivaron en placas de agar sangre que se incubaron a 35°C durante 48h en atmosfera aeróbica. Posteriormente se realizó el conteo de las Unidades de Formación de Colonia (UFC). Los resultados obtenidos indicados en Tabla 3 muestran una reducción importante (equivalente a 0% en camilla y al 7% en el suelo) de UFC al cabo de 20min. La porosidad del suelo y la necesidad de una limpieza profunda podrían ser las causas de UFC detectadas.

Tabla 3: Conteo de Unidades de Formación de Colonia resultantes del muestreo en el interior de la ambulancia

Superficie designada	UFC		
	Pre-exposición	10min	20min
Camilla	13	6	0
Piso	14	7	1

6. Ajuste y simulación con sistema

En base a los resultados del test se simula nuevamente la irradiación con dos prototipos, el primero en la misma ubicación anterior y el segundo ubicado detrás de la butaca en la cabecera de la camilla móvil. Los resultados obtenidos en la simulación se indican en Fig. 13. La escala de tiempos se ajusta ahora para $E_e > 1\text{W}/\text{m}^2$ y t_e de 20min mínimos. Se observa que se alcanza a irradiar prácticamente todas las superficies salvo parte de la estructura bajo la camilla móvil y algunas caras ocultas del equipamiento con lo cual sería un complemento adecuado para otros tratamientos de desinfección.

7. Evaluación del riesgo de UV

Es conocido el efecto nocivo sobre la piel y en los ojos de personas por parte del UV por lo que su utilización requiere evitar la exposición o el uso de protección adecuada.

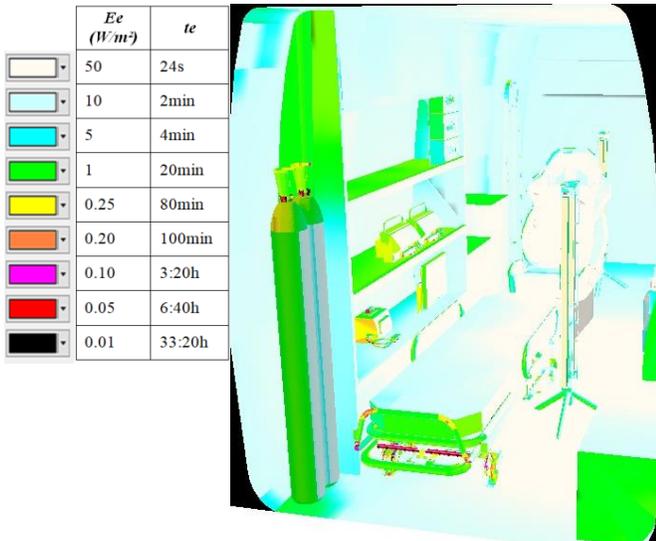


Fig. 12: Simulación con dos prototipos. Los valores de E_e obtenidos y tiempos teóricos de exposición en base a la dosis indicada en Tabla 1.

El sistema propuesto se opera a puertas cerradas (el vidrio de ventanas bloquea el UV-C). La evaluación del riesgo ocupacional a la radiación UV (180- 400nm) [22] en ojos/piel sin protección indica que el tiempo de exposición máximo no debe exceder 1 min. a 1,5m durante la jornada para el sistema propuesto.

8. Conclusiones

Se estudia un sistema de radiación UV-C como alternativa que permite la desinfección complementando a la limpieza con químicos. La porosidad de ciertas superficies y la baja penetración en suciedad del suelo del UV-C hacen necesarios de 20min con dos prototipos para cubrir gran parte de las superficies de la ambulancia. El posible deterioro de materiales (agrietamiento), cambio de coloración es un tema de estudio pendiente en el uso del UVC en el uso en ambulancias. Otras configuraciones de sistemas están en proceso de estudio.

9. Referencias

- [1] Tellier, R.; Li, Yuguo; Cowling, B.; Tang, J.. (2019). Recognition of aerosol transmission of infectious agents: A commentary. *BMC Infectious Diseases*. 19.10.1186/s12879-019-3707-y.
- [2] Covid-19: How long does the coronavirus last on surfaces? <https://www.bbc.com/future/article/20200317-covid-19-how-long-does-the-coronavirus-last-on-surfaces>. 24/08/2020
- [3] van Doremalen, N.; Bushmaker, T.n Morris, D.; Holbrook, M. G.; Gamble, A.; Williamson, B. N.; Tamin, A.; Harcourt, J. L.; Thornburg, N. J.; Gerber, S. I.; Lloyd-Smith, J. O.; de Wit, E.; Munster, V.J. Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. *Journal Article 2020 New England Journal of Medicine* (1564-1567)10.1056/NEJMc2004973 <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMc2004973> April 16, 2020
- [4] G. Kampf, D. Todt, S. Pfaender, E. Steinmann. Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and their inactivation with biocidal agents. *The Journal of Hospital Infection*. 104 (2020) 246-251. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.01.022> Published by Elsevier Ltd.

- [5] Tecnología de desinfección UV. <https://www.lit-uv.com/es/technology/> consultada el 24/08/2020
- [6] Kowalski, Wladyslaw. (2009). *Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook*. 10.1007/978-3-642-01999-9_10.
- [7] Reed, N. G. (2010). The History of Ultraviolet Germicidal Irradiation for Air Disinfection. *Public Health Reports*, 125(1), 15–27. <https://doi.org/10.1177/003335491012500105>
- [8] CNIRP Guidelines on Limits of Exposure to Ultraviolet Radiation of Wavelengths Between 180 nm and 400 nm (Incoherent Optical Radiation). *Health Physics* 87 (2): 171-186; 2004. <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPUV2004.pdf>
- [9] Illuminating Engineering Society (2005). *ANSI/IESNA RP -27.3-07. Photobiological Safety for Lamps and Lamp Systems-Risk Group Classification*. New York. IES.
- [10] Posición de la CIE respecto a la radiación ultravioleta (UV) para reducir el riesgo de transmisión del COVID-19. [http://cie.co.at/files/CIE%20Position%20Statement%20-%20UV%20radiation%20\(2020\)_ES_0.pdf](http://cie.co.at/files/CIE%20Position%20Statement%20-%20UV%20radiation%20(2020)_ES_0.pdf). Consultada 20/5/2020
- [11] DIN. *Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik, DIN 5031-10:2000-03*, Beuth Verlag GmbH: Berlin, Germany, 2000.
- [12] IESNA. *Nonvisual Effects of Optical Radiation. Lighting Handbook 9th Edition 2000*.
- [13] Charles H. Wick, Mary Margaret Wade, Tracey D. Biggs, Leslie I. Williams, Alan W. Zulich. Effects of repeated exposure to filtered and unfiltered broadband light radiation on *Escherichia Coli* growth and propagation. August 2012. <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a568526.pdf>
- [14] Kowalski, Wladyslaw & Walsh, Thomas & Petraitis, Vidmantas. (2020). 2020 COVID-19 Coronavirus Ultraviolet Susceptibility. 10.13140/RG.2.2.22803.22566.
- [15] Sven Schalk, Volker Adam, Erich Arnold, Karl Brieden, Alex Voronov and Hans-Dieter Witzke. *UV-Lamps for Disinfection and Advanced Oxidation - Lamp Types, Technologies and Applications. UV Congress in Whistler, BC, Canada in May 2005*. https://iuvanews.com/stories/pdf/archives/080103Schalk_Article_2006.pdf Consultada el 20/5/2020.
- [16] Dubravko Risović, Mirela Maver Biscanin, Marinka Mravak-Stipetić, Alen Bišćanin. Quantitative Investigation of Efficiency of Ultraviolet and Visible Light in Eradication of *Candida albicans* In Vitro. *Photomedicine and laser surgery* 32(4):232-9. DOI: 10.1089/pho.2013.3691. March 2014
- [17] M. Buonanno, B. Ponnaiya, D. Welch, M. Stanislauskas, G. Randers-Pehrson, L. Smilenov, F. Lowy, D. Owens, D.Brenner. Germicidal Efficacy and Mammalian Skin Safety of 222-nm UV Light Radiation Research, 187(4):483-491. DOI: <http://dx.doi.org/10.1667/RR0010CC.1> 2017.
- [18] IES CR-2-20-V1 Germicidal Ultraviolet (GUV) – Frequently Asked Questions. <https://www.ies.org/standards/committee-reports/ies-committee-report-cr-2-20-faqs/>
- [19] Dialux y Dialux evo. <https://www.dial.de/en/home/> Consultada 27/2/2020
- [20] IES LM-79- 2019. Approved Method: Optical and Electrical Measurements of Solid-State Lighting Products. IESNA.
- [21] Stockmar, A. W. 1998. "EULUMDAT/2 - Extended Version of a Well Established Luminaire Data Format," 1998 CIBSE National Lighting Conference, pp. 353-362.
- [22] ICNIRP (2010). On protection of workers against ultraviolet radiation. <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPUVWorkersHP.pdf>

10. Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de Tucumán PIUNT E627, CONICET PUE 22920160100114CO y al PROGRAMA DE ARTICULACION Y FORTALECIMIENTO FEDERAL DE LAS CAPACIDADES EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA COVID-19.