

El uso de la radiación UV-C para desinfección frente a la pandemia de COVID-19: nuevo sistema portátil de desinfección por radiación UV-C, UNIMORON-Desinfector©*

*UV-C radiation use for disinfection facing COVID-19 pandemic: new disinfection portable system using UV-C radiation, UNIMORON-Disinfector©**

Claudio O. Cervino, Jorge C. Almandoz, Marcelo Mignone, Alfredo Irusta y Gabriela Leiton
Secretaría de Ciencia y Tecnología. Universidad de Morón.

Manuscrito recibido: 10 de abril de 2021; aceptado para publicación: 24 de abril de 2021

Autor de contacto: Dr. Claudio O. Cervino. Secretaría de Ciencia y Tecnología.
Universidad de Morón. Machado 914, (1708) Morón. Provincia de Buenos Aires, Argentina.
E-mail: ccervino@unimoron.edu.ar

* Dispositivo Portátil de Desinfección, Título de Modelo y Diseño Industrial N° 99267. Instituto Nacional de la Propiedad Industrial (INPI), Ministerio de Desarrollo Productivo, República Argentina. Abril 2021.

Resumen

La pandemia COVID-19 causada por el virus SARS-CoV-2 ha tenido un enorme, hasta ahora apenas comprendido, impacto en la salud y las perspectivas económicas a nivel mundial. El SARS-CoV-2 es un virus estable y muy contagioso. Las personas pueden adquirir el virus a través del aire y después de tocar objetos contaminados. La desinfección y esterilización de superficies es una prioridad en el ámbito sanitario, en la industria, en los espacios públicos de alto tránsito y domiciliario. La radiación UV-C (250-280 nm) ha sido utilizada por su actividad germicida esterilizante por más de 30 años; altera los ácidos nucleicos y así, los microorganismos se vuelven inactivos y ya no infecciosos. En la Universidad de Morón hemos desarrollado y puesto en funcionamiento un dispositivo portátil con emisión de radiación UV-C para disminuir la carga viral de superficies y objetos expuestos en lugares públicos y así evitar que las personas que transitan y utilizan esos lugares se contaminen con el coronavirus y se siga expandiendo la enfermedad COVID-19. En definitiva, hemos desarrollado un sistema portátil y práctico para desinfectar de forma rápida, segura y no agresiva diferentes superficies, logrando un nivel de seguridad para el personal que utiliza el sistema, para el ambiente y que no dañe a los objetos o superficies a tratar.

Palabras clave: COVID-19; SARS-CoV-2; radiación UV-C; desinfección; portátil; superficies de contacto.

Abstract

The COVID-19 Pandemic caused by the SARS-CoV-2 virus has had a huge, and up to now mostly unknown, impact on both health and economy at a global level. The SARS-CoV-2 virus is a stable and contagious virus. People can get it through the air, and after that they can touch contaminated objects. Disinfection and sterilization of surfaces is a priority at a sanitary level, and also in industry, in highly used public spaces and at homes. The UV-C radiation (250-280 nm) has been used for its germicide activity for more than 30 years; it alters the nucleic acids and turns microorganisms in inactive organisms and not infectious any more. At the University of Morón, Argentina, we have developed a portable device that emits UV-C radiation to diminish viral charge in surfaces and objects exposed in public places to avoid people to get the virus and spread the illness. To sum up, we have developed a practical and portable system to disinfect in a quick, safe and non-aggressive way diverse surfaces, achieving a good security level for people, environment and without damaging the objects sanitized.

Key words: COVID-19; SARS-CoV-2; UV-C light; disinfection; portable; contact surfaces.

DOI: <http://doi.org/10.34073/267>

Introducción

La enfermedad coronavirus-19 (COVID-19) en humanos se origina en una infección viral altamente contagiosa y patógena causada por el coronavirus 2 del síndrome respiratorio agudo grave (SARS-CoV-2) (Wu et al., 2020). La nueva pandemia del SARS-CoV-2 surgió en Wuhan, y se ha extendido desde China (diciembre 2019) por todo el mundo y ha colocado a los países en situaciones emergentes y de rápida transformación. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha declarado que el brote en curso es una emergencia mundial de salud pública (Zhou et al., 2020) y comunica que al 23 de marzo de 2021 se habían notificado más de 123 millones de casos de COVID-19 y 2.714.517 muertes con 223 países, áreas o territorios con casos (OMS, 2021).

El nuevo coronavirus SARS-CoV-2, junto con el coronavirus del Síndrome Respiratorio Agudo Severo (SRAS-CoV) y el coronavirus del Síndrome Respiratorio de Oriente Medio (MERS-CoV) (de Wit et al., 2016), es el tercer coronavirus humano altamente patógeno que ha surgido en las últimas dos décadas. Los coronavirus tienen un tamaño minúsculo (65-125 nm de diámetro) y contienen ARN de una sola cadena como material genético. El SARS-CoV, la gripe A-H5N1, el H1N1-2009 y el MERS-CoV causan lesiones pulmonares agudas y síndrome de dificultad respiratoria aguda (SDRA) que provoca insuficiencia pulmonar y pueden llevar a la muerte del paciente.

Actualmente, la investigación sobre el SARS-CoV-2 se encuentra en sus comienzos. Para conocer sobre su epidemiología, las características clínicas, el diagnóstico, el tratamiento y la prevención del COVID-19 se puede consultar a Cui et al. (2019), Lai et al. (2020), Shereen et al. (2020) y Wang L et al. (2020).

El SARS-CoV-2 se detecta en muestras de las vías respiratorias, regiones nasofaríngeas y heces en pacientes con COVID-19 (Wang W et al., 2020). La transmisión de persona a persona se ha descrito tanto en entornos hospitalarios como públicos y domésticos (Chang et al., 2020). La identificación de métodos eficaces de microbicidas es de suma importancia para limitar una mayor propagación viral, ya que el virus puede transmitirse a través del aire (gotículas respiratorias) (van Doremalen et al., 2020) y puede sobrevivir durante horas fuera del cuerpo (Stadnytskyi et al., 2020).

El SARS-CoV-2 es detectable en el aire hasta 3 h, hasta 4 h en cobre, hasta 24 h en cartón y hasta 2-3 días en plástico y acero inoxidable (van Doremalen et al., 2020). Las personas pueden adquirir el virus a través del aire y después de tocar objetos contaminados. Para prevenir la exposición al material contaminado (infección por contacto), que es una importante vía de transmisión, se recomienda la higiene de las manos con alcohol 70%, pero su eficacia para prevenir la propagación de la infección por SARS-CoV-2 puede ser insuficiente (Kampf et al., 2020; Kratzel et al., 2020).

Por lo tanto, es de suma importancia evitar cualquier propagación adicional en el ámbito público y sanitario, como en el domiciliario. Se ha postulado la transmisión de coronavirus desde superficies contaminadas, incluida la autoinoculación de las membranas mucosas de la nariz, los ojos o la boca (Dowell et al., 2004; Otter et al., 2016; OMS, 2020; CDC, 2021), haciendo hincapié en la importancia de una comprensión detallada de la persistencia del coronavirus en las superficies inanimadas (Geller et al., 2012).

Hay muchas técnicas de control que podrían reducir el riesgo de infección viral en superficies, incluyendo esterilización por calentamiento (Ferenczy et al., 1989), desinfectantes químicos (Rabenau et al., 2005) e irradiación germicida ul-

travioleta (IGUV) (Duizer et al., 2004). En este contexto, las tecnologías de desinfección sin contacto son altamente deseables, y la radiación UV, en particular UV-C (200–280 nm), es uno de los enfoques más fiables y ampliamente aceptados (Chang et al., 1985; Pirnie et al., 2006; Reed, 2010; Kovalski, 2010).

La radiación ultravioleta (UV) es un componente de la luz solar que cae en la región entre la luz visible y los rayos X en el espectro electromagnético, con un rango de longitud de onda de 100-400 nanómetros (nm), como se muestra en la **Fig. 1**. Esta radiación, invisible al ojo humano, se puede dividir en regiones separadas de la siguiente manera: UV-A: 315-400 nm; UV-B: 280-315 nm; UV-C: 200-280 nm, y UV lejano (o "vacío"): 100-200 nm.

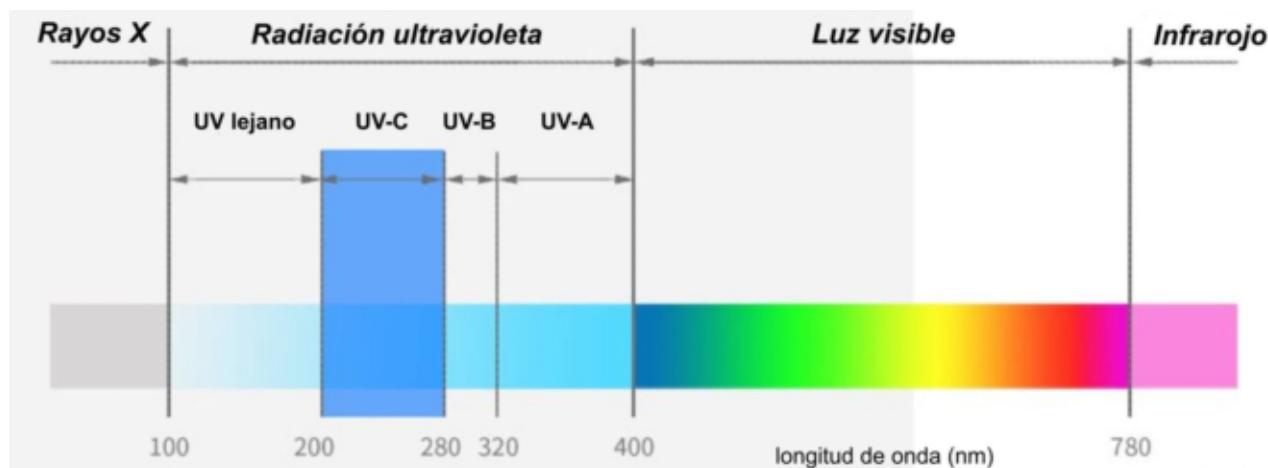


Figura 1. Espectro electromagnético. La radiación ultravioleta (UV) cae dentro del espectro de ondas electromagnéticas que oscila entre 100 y 380 nm, y se clasifica como regiones UV-A, UV-B y UV-C según el rango de longitud de onda. En el rango UV-C, la radiación UV tiene potentes propiedades germicidas que se pueden utilizar en una gama de aplicaciones de desinfección.

travioleta (IGUV) (Duizer et al., 2004). Varios tipos de agentes biocidas como peróxido de hidrógeno (agua oxigenada), alcoholes, hipoclorito sódico (lavandina) o cloruro de benzalconio se utilizan en todo el mundo para la desinfección, principalmente en entornos sanitarios (Kampf, 2018). Sin embargo, muchas superficies no pueden esterilizarse térmicamente o podrían verse dañados por la desinfección química (Blair y Wassell, 1996).

En contraste con la mayoría de los desinfectantes, la IGUV ha sido bien reconocida como un método eficaz para la desactivación de microorganismos (Duizer et al., 2004; Green

La UV-C (rango 250-280 nm) se considera la región germicida más eficaz del espectro UV, desactivando bacterias, virus, hongos y protozoos (Haji Malayeri et al., 2016). Los métodos de desinfección que utilizan radiación UV-C causan daño de los ácidos nucleicos ADN o ARN, y evitan la replicación (Bintsis et al., 2000). Los mecanismos de IGUV en microorganismos son máximamente vulnerables a la luz UV en longitudes de onda a o cerca de 260 nm, porque es la longitud de onda de absorción máxima de una molécula de ADN (Anderson et al., 2000).

La luz UV-C es capaz de penetrar las células de los microor-

ganismos y alterar la estructura de las moléculas de ADN/ARN (Raeiszadeh y Adeli, 2020) (**Fig. 2**). Por ejemplo, después de la irradiación UV la secuencia de ADN de los microorganismos puede formar residuos de pirimidinas, que pueden interferir con la transcripción, traducción y duplicación del ADN, y así conducir a la destrucción de los ácidos nucleicos, lo que eventualmente lleva a la inactivación y/o muerte de microorganismos (Kim et al., 2013) y que los virus no sean infecciosos (Brickner et al., 2003).

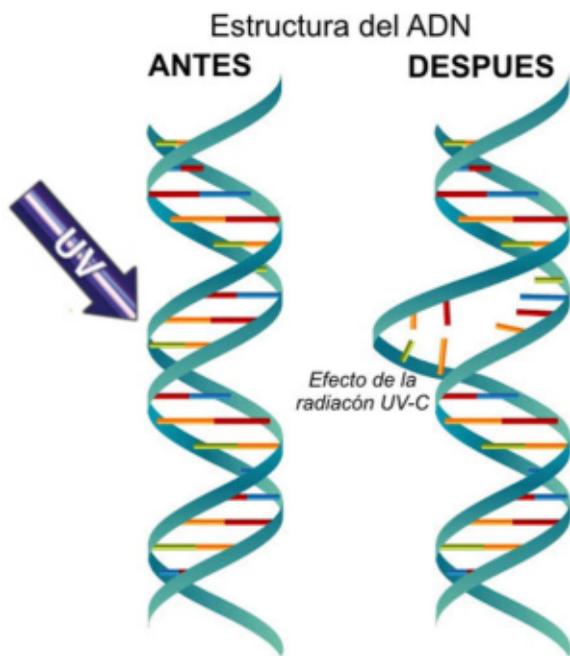


Figura 2. A diferencia de los métodos químicos para la desinfección de superficies, la radiación ultravioleta tipo C (UV-C) proporciona una inactivación rápida y efectiva de microorganismos a través de un proceso físico. Cuando las bacterias, virus, hongos y protozoos se exponen a las longitudes de onda germicidas de la radiación UV-C, se vuelven incapaces de reproducirse e infectar. Los microorganismos son inactivados por la radiación UV como resultado del daño a los ácidos nucleicos. La alta energía asociada con la energía UV de onda corta, principalmente a 260 nm, es absorbida por el ARN o el ADN celular. Esta absorción de energía UV forma nuevos enlaces entre nucleótidos adyacentes, alterando la funcionalidad del ácido nucleico.

Además, la destrucción del ADN puede ocurrir por medio de especies reactivas del oxígeno (ERO) como los radicales hidroxilos y el peróxido de hidrógeno generado por la irradiación UV (Cadete y Wagner, 2013). El estrés oxidativo por ERO den-

tro de las células bacterianas causa daño no sólo a los componentes celulares, sino también a los ácidos nucleicos para que surjan cambios en el patrón de expresión génica (Scharfetter-Kochanek et al., 1997).

Algunos estudios informaron que el tratamiento UV indujo daños en la membrana celular (Ha y Kang, 2013, 2014; Schenk et al., 2011) y este daño de membrana inducido por los rayos UV puede ser un mecanismo potencial adicional de inactivación bactericida.

La naturaleza germicida de los rayos UV es muy adecuada para tratar microorganismos que se vuelven extremadamente resistentes a los desinfectantes químicos, ya que son incapaces de desarrollar inmunidad a la radiación UV. Las investigaciones mostraron que la IGUV es un método eficaz para la inactivación de virus en superficies (Tseng y Li, 2007). La interacción de las radiaciones UV-C con virus se ha estudiado ampliamente, y el mecanismo más común consiste en la absorción directa del fotón UV-C por la base del ácido nucleico y/o proteínas de las cápsulas virales que conducen a la generación de fotoproductos que inactivan el virus (Wigginton y Kohn, 2012; Qiao y Wigginton, 2016). Diversos estudios han demostrado que la radiación UV-C puede inactivar coronavirus como el SARS-CoV y el MERS-CoV (Bedell et al., 2016). La eficacia de la IGUV para la inactivación de microorganismos depende no sólo de la longitud de onda, sino también se relacionó con otros factores como el tipo de microorganismo, la intensidad y duración de irradiación y las condiciones ambientales (Li y Li, 2002; Jensen et al., 2005).

Se ha reportado que dispositivos con diodo emisor de luz UV tipo C (LED UV-C) que generan distintas longitudes de ondas entre 200-400 nm son efectivos para inactivar microorganismos, incluyendo virus, bacterias y hongos (Shin et al., 2016; D.-K. Kim et al., 2017a, 2017b; Rattanukul y Oguma, 2018; Nishisaka-Nonaka et al., 2018; Kim y Kang, 2018; Cheng et al., 2020).

Los LED son diodos de unión p-n semiconductores que emiten radiación a una sola longitud de onda cuando se aplica una tensión eléctrica. En los últimos años, el desarrollo de materiales y fabricación ha permitido la producción de LEDs que emiten en el espectro UV (200-400 nm); específicamente, los LED UV-C que emiten en el rango germicida (220-290 nm) han creado oportunidades para aplicaciones de desinfección.

En el nivel actual de tecnología, la longitud de onda de 280 nm es una opción óptima para lograr una alta eficiencia de inactivación con un consumo mínimo de energía. Oguma observó que los LED UV que irradian a 280 nm pueden lograr una alta tasa de inactivación constante y cuentan con el menor consumo de energía para lograr 3 log de inactivación en las especies microbianas probadas a 265, 280 y 300 nm (Oguma y Surapong, 2018). Inagaki et al. (2020) han publicado el efecto antiviral de la irradiación por LED UV-C (280 ± 5 nm) contra el SARS-CoV-2. Una lista de artículos publicados recientemente sobre la inactivación SARS-CoV-2, con observaciones importantes para cada trabajo, puede consultarse en Raeiszadeh y Adeli (2020).

En comparación con las lámparas convencionales de descarga de gas de mercurio, los LED UV-C con la emisión en el rango de longitud de onda 280 nm tienen propiedades excepcionales, ya que pueden compensar varias limitaciones de las clásicas lámparas de mercurio, incluyendo (Vilhunen, 2010; Würtele, et al., 2011; Glaab et al., 2015; Wang et al., 2015; Shin et al., 2016; Guo et al., 2017): sin la utilización de mercurio, menos frágiles, longitud de onda de emisión ajustable, bajo voltaje de funcionamiento y tamaño compacto para incorporarlos a varios sistemas de desinfección. Además, los LEDs UV-C muestran intensidad independiente de la temperatura y proporcionan la capacidad de encenderse y apagarse instantáneamente en comparación con las lámparas de mercurio. Dado su pequeño tamaño, de menos de 1 mm², múltiples diodos pueden disponerse de diferentes maneras y emitir desde diferentes ángulos, en lugar de fuentes de luz UV tubulares tradicionales, lo que permite más opciones para el diseño de dispositivos de desinfección (Lui et al., 2016; Oguma et al., 2016).

Con el objetivo de contribuir al esfuerzo mundial por frenar la pandemia del coronavirus y evitar el contagio y la propagación en nuestro medio, desde la Universidad de Morón nos propusimos desarrollar y fabricar un Sistema portátil de desinfección por radiación ultravioleta tipo C (UV-C), que resulte práctico, efectivo y de bajo costo.

La desinfección es la acción de eliminar todos los microorganismos (bacterias, virus, hongos y protozoos) patógenos o no, con excepción de las esporas bacterianas, de la superficie de un objeto o de un ser vivo mediante la aplicación de medios químicos o físicos (CDC, 2008). Desde un punto

de vista legal, los métodos desinfectantes deben reducir el nivel de bacterias patógenas en un 99,999 % durante un lapso de tiempo entre 5 y 10 minutos.

Con nuestro Sistema Portátil de desinfección por UV-C, que hemos denominado UNIMORON-desinfectador[®], se ofrece un método para eliminar microorganismos sin contacto, a seco, sobre las superficies a tratar. Esto otorga ventajas al método tradicional de limpieza con productos químicos, tales como: ser seguro para el operador, posibilidad de trabajarse en ausencia de personal y apto para la desinfección de tableros de comando y teclados de equipamiento crítico en estado de funcionamiento donde el método tradicional húmedo es inaplicable. La utilización de LED UV-C (280 nm) otorga las ventajas ya mencionadas sobre las lámparas de mercurio.

Desarrollo

Elegimos la radiación UV-C emitida desde LEDs porque en su construcción se contemplan las directivas adoptadas por la Unión Europea en el año 2003 y actualizadas el año 2011 orientada a reducir el uso de algunas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos. En este sentido, si lo comparamos con la tecnología de los tubos germicidas, los LED no tienen en su composición materiales como mercurio o plomo.

En cuanto a su buen efecto biocida, la UV-C inactiva microbios en pocos segundos a minutos e impide su replicación (esporas incluidas) en superficies expuestas bajo las siguientes condiciones: (1) reducida distancia entre la superficie a desinfectar y la fuente UV-C; (2) longitud de onda preferiblemente en el rango de 255-280 nm; (3) tiempo de exposición adecuado; y (4) irradiación superficial homogénea. La miniaturización de la tecnología LED UV, así como su bajo consumo de energía, larga vida útil y menor costo, permiten aplicaciones innovadoras para la desinfección en el campo biomédico, en la producción industrial, en áreas de acceso público y en domicilios.

Para satisfacer las condiciones anteriores, en este trabajo se utilizaron LED XBT-1313 UV de Luminus Devices Inc. (Sunnyvale, CA, USA), longitud de onda de 280 nm, integrados en módulos de 3 LED en serie por Quadica Developments Inc (Alberta, Canadá). Ambos proveedores certifican las directivas mencionadas como RoHS y REACH.

Para la integración de los LED, se montaron superficialmente

3 LED en serie en cada módulo. El montaje está realizado sobre un circuito de cobre autoadhesivo que apoya sobre una cinta doble faz de transferencia térmica, terminando sobre una chapa de aluminio de 10 x 30 mm y 1 mm de espesor, y perfectamente plana. Cada módulo es ensayado en forma individual para determinar sus parámetros de funcionamiento según las características dadas por el fabricante a una corriente 20 mA establecida como “nominal”. El testeo del conjunto se realiza en condición de máxima irradiancia (NIST trazable), voltaje aplicado y corriente establecida. De esta forma, se permite establecer parámetros de funcionamiento de cada módulo y posibilitar un hermanado de los mismos que garantiza la estabilidad del conjunto con máxima eficiencia.

Se diseñó y fabricó un dispositivo que cuenta con una parrilla de irradiación de UV-C, formado por 6 obleas conteniendo 3 LEDs cada una. En total, la placa de irradiación contiene 18 LEDs que emite cada uno en una longitud de onda de 280 nm. En la **Fig. 3** se muestra el esquema eléctrico y la parrilla de LEDs del dispositivo de ensayo.

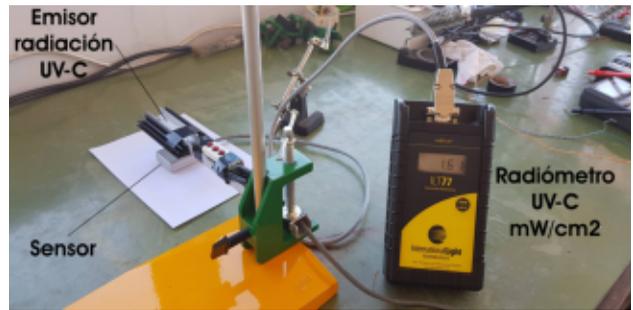


Figura 4. Pruebas de banco. Mediciones de Intensidad UV-C (fluencia) vs altura de emisión

Los diferentes patógenos tienen resistencias únicas a la luz UV, algunos son muy susceptibles, mientras que otros requieren más exposición a UV-C para una inactivación completa. La desinfección UV se basa en la radiación emitida en el rango de longitud de onda de 250–280 nm (UV-C) para inactivar patógenos. Una dosis UV correcta es fundamental para desactivar completamente los microbios previstos. En nuestro caso elegimos LEDs UV-C con longitud de onda de emisión de 280 nm.

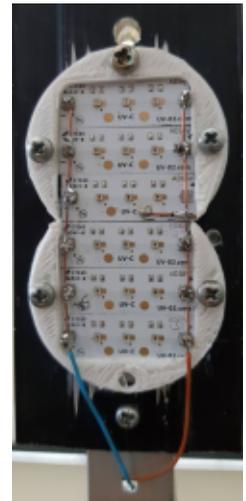
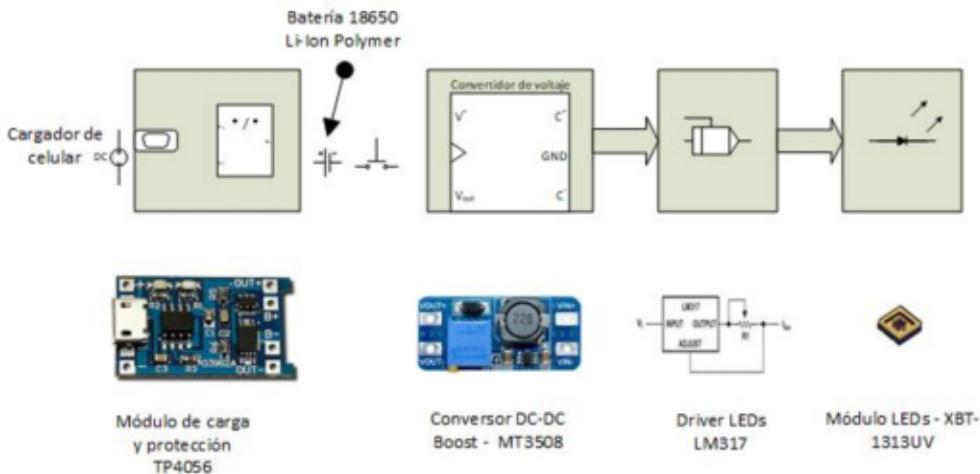


Figura 3. Diagrama en bloque del módulo eléctrico y parrilla de LEDs UV-C del dispositivo de ensayo.

1.- Evaluación del funcionamiento del dispositivo

El dispositivo UNIMORON-desinfectante se puso a prueba en laboratorio durante su diseño y desarrollo. El funcionamiento del conjunto LED UV-C y fuente de alimentación se probaron bajo distintas disposiciones y diversas circunstancias de ensayo (**Fig. 4**).

La cantidad de radiación UV-C aplicada a una superficie o volumen determinado durante un período de tiempo específico necesario para la desinfección en un sistema se conoce comúnmente como la dosis UV requerida. La dosis UV, también llamada fluencia UV, se calcula utilizando la siguiente ecuación (Bolton et al., 2015):

$$\text{Dosis UV} = \text{Intensidad} \times \text{tiempo}^n \text{ o } \text{dosis UV} = I \times t^n$$

donde: dosis UV se mide en julios por metro cuadrado (J/m^2) o milijulios por centímetro cuadrado (mJ/cm^2); intensidad UV (I , también llamada irradiancia UV) se mide en milivatios por centímetro cuadrado (mW/cm^2), y el tiempo de exposición (t) se mide en segundos, donde en la aplicación a la biología, $n=1$ (exponente de Schwazchild).

En algunas publicaciones pueden aparecer dosajes en mJ/cm^2 o J/m^2 según las potencias en juego. Se puede hacer la siguiente tabla de equivalencia: $1 \text{ mW}/\text{cm}^2 = 10 \text{ W}/\text{m}^2$ y $1 \text{ mJ}/\text{cm}^2 = 10 \text{ J}/\text{m}^2$.

En la **Fig. 5** se grafican: a) la intensidad UV-C (fluencia) que llega a una superficie desde diferentes alturas de la fuente de irradiación, y b) la intensidad UV-C (fluencia) que se mide a diferentes distancias desde el punto central (perpendicular) de radiación sobre la superficie de irradiación.

Los resultados de intensidad, en mW/cm^2 , se encuentran dentro del rango esperado para la acción germicida de la radiación UV-C, de acuerdo a la bibliografía (Haji Malayeri et al., 2016).

2.- Estudios de la irradiación de UV-C sobre cultivos de microorganismos

2.1- Composición cuali-cuantitativa de la población microbiana

La composición cualitativa de la población microbiana que se ensayó estuvo conformada por los siguientes microorganismos:

- Bacterias: *Escherichia coli*, *Salmonella choleraesuis*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomona aeruginosa* y *Bacillus subtilis*.
- Hongos: *Aspergillus niger* y *Penicillium notatum*.

Este conjunto de microorganismos presenta una gran diversidad, ya que, en el grupo de las bacterias, se encuentran tanto bacterias Gram (-), como Gram (+), bacterias esporuladas y del *gro. Pseudomona*, otorgándole al ensayo una gran amplitud de flora de estudio. Se han seleccionado hongos para completar el perfil de microorganismos a evaluar. Desde el punto de vista cuantitativo los inóculos serán del orden de $1,0 \times 10^5 \text{ UFC}/100 \text{ cm}^2$.

Se ensayó, por un lado, el grupo bacterias y, por el otro, hongos por separado para analizar el impacto diferencial sobre cada uno de los grupos de microorganismos estudiados.

2.2- Dosis UV-respuesta

La cantidad predecible de dosis requerida para un grado específico de desinfección se conoce como una "log reducción" (es decir, reducción logarítmica). La reducción del registro se relaciona con el porcentaje de microorganismos eliminados físicamente o desactivados por la UV-C. Por ejemplo,

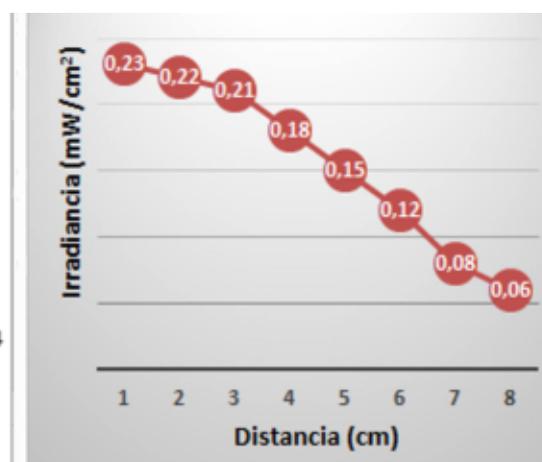
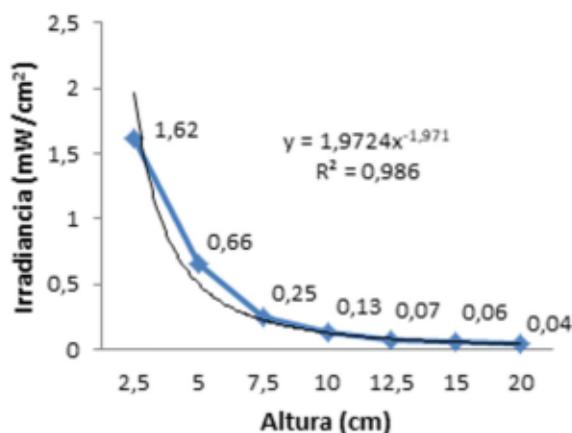


Figura 5. Gráficos que muestran la intensidad o irradiancia UV-C generada por el dispositivo LED en función de: la altura de emisión (izquierda) y la distancia de emisión (derecha).

una reducción de 1 log representa una reducción de microorganismos en un 90% desde el nivel control antes de la desinfección UV; el recuento de microbios se reduce en un factor de 10 o 1 log. Así, una reducción de 2 log verá una reducción del 99%, o reducción de microbios en un factor de 100, y así sucesivamente.

La relación dosis UV-respuesta determina qué proporción de un microorganismo específico es destruida después de una dosis particular de radiación UV. Esta cifra puede expresarse como la proporción de microorganismos inactivados o la proporción restante en función de la dosis UV. La dosis UV-respuesta se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Inactivación log} = \log_{10} (N_0/N)$$

donde: N_0 = concentración de microorganismos infecciosos antes de la exposición a la luz UV; N = concentración de microorganismos infecciosos después de la exposición a la luz UV.

En este trabajo, consideramos N_0 = número de colonias de bacterias o de hongos sin exposición a la luz UV (control) y N = número de colonias de bacterias o de hongos después de la exposición a la luz UV.

2.3- Ensayos microbiológicos cualitativos

Para los estudios microbiológicos se ensayaron colonias de bacterias y colonias de hongos sobre superficie de vidrio (portaobjetos) que fueron irradiadas con el dispositivo UV-C con las siguientes condiciones de ensayo: longitud de onda, 280 nm; altura de irradiación, 10 cm; tiempo de irradiación, 5 y 10 min; temperatura ambiente, 17° C y humedad relativa, 66 %. Los valores de intensidad registradas con radiómetro y de dosis calculadas fueron las siguientes:

LED UV-C 280 nm	Altura irradiación	Intensidad	Dosis 5 min	Dosis 10 min
	10 cm	0,19 mW/cm ²	0,057 J/cm ² (570 J/m ²)	0,114 J/cm ² (1.140 J/m ²)

Los ensayos microbiológicos cualitativos sobre bacterias y hongos se realizaron por separado, con réplicas y con doble control (sin irradiar y medio de cultivo). Luego de la irradiación bajo las condiciones arriba descritas, se trasladó con

hisopo esterilizado una muestra de la superficie de vidrio a una caja de Petri con medio de cultivo apropiado para verificar el desarrollo de microorganismos presentes en las superficies tratadas.

Los resultados de la irradiación de colonias de bacterias con tiempos de 5 y 10 min se muestran en la **Tabla I** y en la **Fig. 6**. Los resultados de la irradiación de colonias de hongos con tiempos de 5 y 10 min se muestran en la **Tabla I** y en la **Fig. 7**.

Tabla I. Efecto de la irradiación de UV-C, 280 nm, con el dispositivo portátil sobre colonias de bacterias y de hongos sembradas sobre superficie de vidrio. La irradiación se realizó desde 10 cm de altura y a tiempos de exposición de 5 y 10 min. 0= sin efectos (desarrollo de colonias); += efecto (reducción crecimiento colonias).

Tiempo irradiación	Dosis (J/m ²)	Control medio de cultivo	Colonia sin irradiar	Bacterias	Hongos
Sin irradiar	0	0	0		
5 min	570			++	0
10 min	1.140			++	+

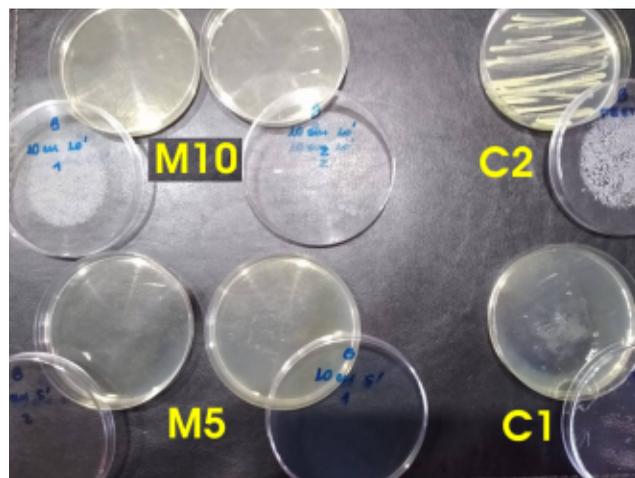


Figura 6. Cultivos de bacterias irradiadas con dispositivo de LED UV-C 280 nm, durante 5 y 10 min (M5 y M10, respectivamente), con réplica, desde una altura de 10 cm. Se observa el efecto de la irradiación UV-C, con falta de desarrollo bacteriano tanto con el tiempo de irradiación 5 como 10 min. A la derecha de la fotografía se muestran los controles de medio de cultivo (C1) y sin irradiar (C2).



Figura 7. Cultivos de hongos irradiados con dispositivo LED UV-C 280 nm, durante 5 y 10 min (M5 y M10, respectivamente), con réplica, a una altura de 10 cm. Se observa el efecto de la irradiación UV-C, con una disminución en el desarrollo de hongos con el tiempo de irradiación 10 min, pero con menor efecto con el tiempo de irradiación 5 min. En el centro, el control sin irradiar.

Los resultados nos permiten verificar una gran efectividad en cuanto a la inhibición del desarrollo de las colonias de bacterias irradiadas con tiempos de 5 y 10 min y una efectividad sobre colonias de hongos irradiadas por 10 min.

3.- Ensayos cuantitativos sobre distintas superficies

Para probar la efectividad del UNIMORON-desinfectante sobre las superficies, se ensayaron tres áreas de distintos materiales: acero inoxidable; cerámica esmaltada y melamina. Los inóculos microbianos provenientes de cultivos madre eran estudiados aplicados sobre distintas superficies para, además del efecto antimicrobiano, poder evaluar el impacto de la composición de los diferentes materiales que constituían las superficies.

Para cada tipo de material/superficie se utilizaron dos series

de probetas, cada serie con 5 placas (7 x 7 cm), 4 réplicas más 1 control, esterilizadas. La superficie de las probetas de cada serie se sembró con los dos tipos de microorganismos (bacterias y hongos) por separado. Para cada material, en cabina de flujo laminar con filtro EPA se sembraron los microorganismos sobre las superficies en las dos series de placas, y a continuación, secado en estufa a 40° C durante 30 min. A continuación, se irradiaron todas las placas con luz UV-C (LED, 280 nm) fija, durante 5 min (2 réplicas) y 10 min (2 réplicas) a 10 cm de altura cada placa. Se utilizaron probetas testigo contaminadas y sin tratamiento (sin irradiar, para verificar viabilidad).

Apenas finalizado el tiempo de irradiación, y evitando todo tipo de contaminación, se “levantó” una muestra de cada probeta, con hisopo y agua destilada estériles, desde las superficies sembradas e irradiadas. También se tomó una muestra desde los controles. Se sembraron placas de Petri rotuladas y con medio de cultivo adecuado. Luego, se cultivaron tapadas en estufa a 35 °C durante 5 días para realizar las inspecciones cualitativas y el contero cuantitativo de cantidad de colonias.

3.1- Ensayos cuali/cuantitativos sobre superficie de acero inoxidable

Los resultados desde superficies de acero inoxidable siguiendo el protocolo descrito, se muestran en la **Fig. 8** y **Tabla II**.

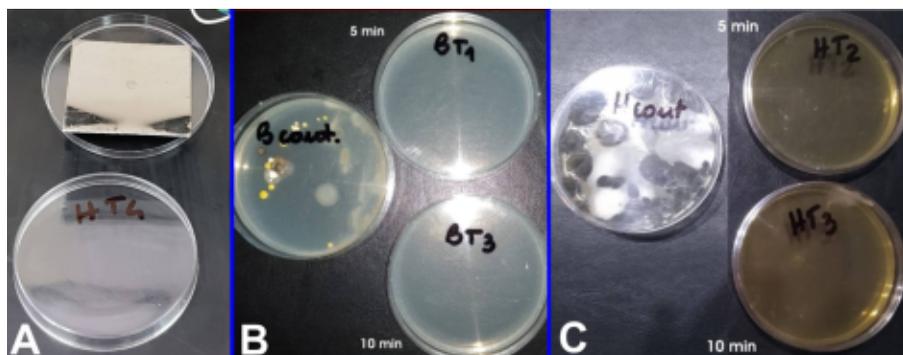


Figura 8. Análisis Cualitativo sobre superficie de acero inoxidable. Placa de acero inoxidable con siembra de microorganismos en la zona central (A). También se muestran los resultados de los cultivos de bacterias (B) y de hongos (C). En ambos casos, la caja de Petri a la izquierda con cultivo desde placa de acero inoxidable sin irradiar (control). Las placas BT1 y HT2 réplicas de cultivos que pro-

vienen desde placas de acero inoxidable sembradas con microorganismos e irradiadas durante 5 min. Las placas BT3 y HT3 réplicas irradiadas durante 10 min. En las placas de Petri provenientes de placas de acero inoxidable, contaminados con bacterias o con hongos,

e irradiadas con la luz UV-C 280 nm no se observan desarrollo de microorganismos. Se demuestra la efectividad del sistema UNIMORON-desinfectador y su poder desinfectante.

Tabla II. Análisis Cuantitativo. Luego de 5 días de incubación, se contabilizó el número de colonias en las placas de Petri que se muestran y describen en la Figura 7. Tiempo de irradiación: 5 y 10 min.

Colonias:	Bacterias		Hongos	
Tiempo de irradiación	5 min	10 min	5 min	10 min
Dosis	570 J/m ²	1.140 J/m ²	570 J/m ²	1.140 J/m ²
Control	90 colonias	90 colonias	> 300 colonias	> 300 colonias
Réplica 1	< 1 colonias	< 1 colonias	< 1 colonias	< 1 colonias
Réplica 2	< 1 colonias	< 1 colonias	< 1 colonias	< 1 colonias
Promedio R1 + R2	< 1 colonias	< 1 colonias	< 1 colonias	< 1 colonias
log reducción	> 6 (99,9999 %)	> 6 (99,9999 %)	> 6 (99,9999 %)	> 6 (99,9999 %)

3.2- Ensayos cuali/cuantitativos sobre superficie de cerámica

Los resultados desde superficies de cerámica esmaltada si-

guiendo el protocolo descrito, se muestran en la **Fig. 9 y Tabla III.**

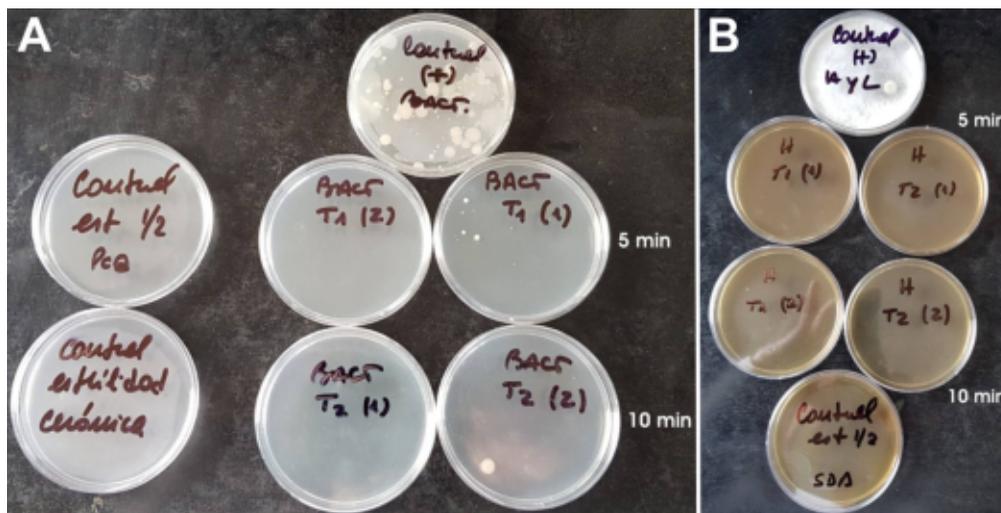


Figura 9. Análisis Cualitativo sobre superficie de cerámica. Se observa los resultados de los cultivos de bacterias (A) y de hongos (B) luego de 5 días de incubación. A: a la izquierda, cajas de Petri con control esterilidad del medio de cultivo para bacterias y control esterilidad placa de cerámica sin irradiar. Arriba, placa de Petri con sembrado de bacterias. Las placas Bact T1 provienen de placas de cerámica irradiadas durante 5 min y las placas Bact T2 provienen de placas de cerámica irradiadas durante 10 min (en ambos casos con réplicas (1) y (2)). B: abajo, caja de Petri con control esterilidad del medio de cultivo para hongos. Arriba, placa de Petri con sembrado de hongos. Las placas H T1 provienen de placas de cerámica irradiadas durante 5 min y las placas H T2 provienen de placas de cerámica irradiadas durante 10 min (en ambos casos con réplicas (1) y (2)). Se observan algunas colonias de bacterias en una de las réplicas irradiadas (luz UV-C 280 nm) a 5 y otra a 10 min. Las provenientes de superficies contaminadas con hongos e irradiadas, no se observa crecimiento de colonias de hongos.

Tabla III. Análisis Cuantitativo. Luego de 5 días de incubación, se contabilizó el número de colonias en las placas de Petri que se muestran y describen en la Figura 8. Tiempo de irradiación: 5 y 10 min.

Colonias:	Bacterias		Hongos	
	5 min	10 min	5 min	10 min
Tiempo de irradiación	5 min	10 min	5 min	10 min
Dosis	570 J/m ²	1.140 J/m ²	570 J/m ²	1.140 J/m ²
Control	140 colonias	140 colonias	> 300 colonias	> 300 colonias
Réplica 1	< 9 colonias	< 1 colonias	< 1 colonias	< 1 colonias
Réplica 2	< 1 colonias	< 1 colonias	< 1 colonias	< 1 colonias
Promedio R1 + R2	< 4,5 colonias	< 0,5 colonias	< 1 colonias	< 1 colonias
log reducción	> 1,5 (99%-99,9%)	> 2,5 (99%-99,9%)	> 6 (99%-99,9%)	> 6 (99%-99,9%)

En ambos tipos de medios sembrados desde placas de cerámica irradiadas con la luz UV-C no se observan desarrollo de bacterias (solo unas pocas colonias en unas réplicas) y hongos, quedando manifiesta la efectividad del sistema UNIMORON-desinfectador.

3.3- Ensayos cuali/cuantitativos sobre superficie de melamina

Los resultados desde superficies de melamina siguiendo el protocolo descrito, se muestran en la Fig. 10 y Tabla IV.

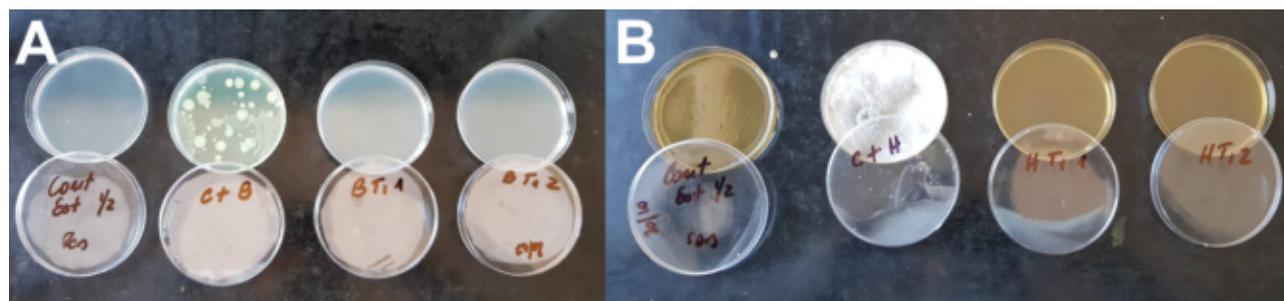


Figura 10. Análisis Cualitativo sobre superficie de melamina Se observa los resultados de los cultivos de bacterias (A) y de hongos (B) luego de 5 días de incubación. A: a la izquierda, caja de Petri con control esterilidad del medio de cultivo para bacterias. A continuación, caja de Petri con sembrado de bacterias (C+B). La caja BT1-1 proviene de placas de melamina irradiadas durante 5 min y la caja BT1-2 proviene de placas de melamina irradiadas durante 10 min (en ambos casos se hicieron réplicas, no mostradas). B: a la izquierda, caja de Petri con control esterilidad del medio de cultivo para hongos. A continuación, placa de Petri con sembrado de hongos (C+H). La caja HT1-1 proviene de placas de melamina irradiadas durante 5 min y la caja HT1-2 proviene de placas de melamina irradiadas durante 10 min (en ambos casos se hicieron réplicas, no mostradas). En ambas fotografías, fila superior, caja con medio de cultivo; fila inferior, tapas rotuladas. Se observa una colonia de bacteria en una de las réplicas irradiadas (luz UV-C 280 nm) a 10 min. Las provenientes de superficies contaminadas con hongos e irradiadas, no se observa crecimiento de colonias de hongos.

Tabla IV. Análisis Cuantitativo. Luego de 5 días de incubación, se contabilizó el número de colonias, en las placas de Petri que se muestran y describen en la Figura 9. Tiempo de irradiación: 5 y 10 min.

Colonias:	Bacterias		Hongos	
Tiempo de irradiación	5 min	10 min	5 min	10 min
Dosis	570 J/m ²	1.140 J/m ²	570 J/m ²	1.140 J/m ²
Control	33 colonias	33 colonias	> 300 colonias	> 300 colonias
Réplica 1	< 1 colonias	< 1 colonias	< 1 colonias	< 1 colonias
Réplica 2	< 1 colonias	< 1 colonias	< 1 colonias	< 1 colonias
Promedio R1 + R2	< 0,5 colonias	< 1 colonias	< 1 colonias	< 1 colonias
log reducción	> 6 (99,9999 %)	~2 (99 %)	> 6 (99,9999 %)	> 6 (99,9999 %)

En estos cultivos sembrados desde placas de melamina irradiadas con la luz UV-C no se observan desarrollo de bacterias u hongos, quedando manifiesta la efectividad del sistema UNIMORON-desinfectador.

4.- Ensayos de campo para desinfección superficies

En cabina flujo laminar con filtro EPA se prepararon cajas de Petri con medio de cultivo esterilizado. En la planta baja del Edificio de Laboratorios de la UM se seleccionaron cuatro superficies que habían sido limpiadas con la rutina habitual, pero sin ser desinfectadas: el mostrador de entrada, canilla en un baño, picaporte de una puerta y botonera del ascensor. Con un hisopo esterilizado se tomó una muestra antes y des-

pués de la irradiación con el UNIMORON-desinfectador (UV-C 280 nm), durante 5 minutos y a aproximadamente 10 cm de distancia. Durante el proceso de esterilización el haz de luz UV-C desde el dispositivo era desplazado lentamente con movimientos circulares y longitudinales sobre la superficie durante el tiempo establecido (área aprox. 20x20 cm= 400 cm²). La dosis irradiada fue de 570 J/m².

En cada caso, se sembró la muestra tomada con el hisopo sobre un medio de cultivo y se tapó rápidamente la caja de Petri. Todas las muestras se rotularon apropiadamente (Tabla V). Las 9 cajas de Petri se incubaron en estufa a 32°C durante 72 horas.

Tabla V. En 4 superficies seleccionadas en la PB del Edificios de Laboratorio de la Universidad de Morón, se tomaron muestras microbiológicas y se sembraron sobre medios de cultivo esterilizados. Las muestras se tomaron antes de irradiar (pretratamiento) y luego de irradiar con luz UV-C 280 nm durante 5 min a 10 cm de distancia (dosis irradiada = 570 J/m²).

Placa	Tiempo irradiación	Superficie	Muestra
0	0 min	Control medio (medio de cultivo sin sembrar ni irradiar)	
1	0 min	Superficie melamina (mostrador entrada Edif. de Laboratorios).	Mostrador pretratamiento
2	5 min		Mostrador 5 min irradiación UV-C, 10 cm distancia.
3	0 min	Superficie metal cromado (canilla baño PB Edif. de Laboratorios).	Canilla baño pretratamiento
4	5 min		Canilla baño 5 min irradiación UV-C, 10 cm distancia.
5	0 min	Superficie metal bronce (picaporte puerta SeCyT, PB Edif. de Laboratorios).	Picaporte puerta pretratamiento
6	5 min		Picaporte puerta 5 min irradiación UV-C, 10 cm distancia.
7	0 min	Superficie metal acero inoxidable (botonera ascensor, PB Edif. de Laboratorios).	Botonera ascensor pretratamiento
8	5 min		Botonera ascensor 5 min irradiación UV-C, 10 cm distancia.

Los resultados cualitativos muestran una efectividad remarkable del uso del UNIMORON-desinfectante ya que los cultivos posteriores a la irradiación no muestran bajo lupa desarrollo de microorganismos (**Fig. 11**).

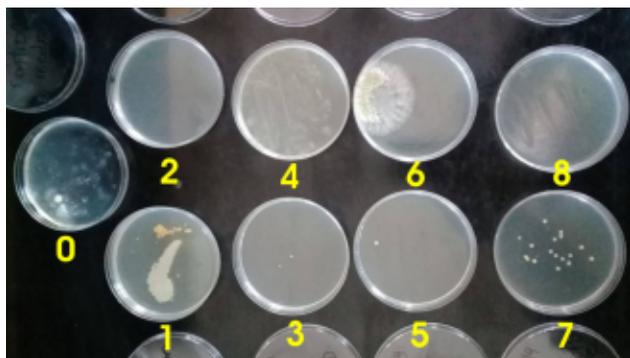


Figura 11. Resultados de la toma de muestras sobre distintas superficies antes (pre) y luego (post) de la irradiación con luz UV-C (LED 280 nm) durante 5 min a 10 cm de distancia. Placa 0, control medio de cultivo; Placas 1 a 8 de acuerdo a la Tabla V.

En el par de placas 5-6, tomadas sobre superficie de pica-porte, la caja post-irradiación muestra un importante crecimiento de colonias, pero puede asignarse a una mala manipulación de la placa 6 y su contaminación. Luego de finalizada la incubación (3 días) de placas de Petri con muestras tomadas desde superficie de melamina (placas 1 y 2, Tabla V) y metal acero inoxidable (placas 7 y 8, Tabla V), se realizó un sembrado sobre medio de cultivo para bacterias. Luego, se mantuvieron 12 días en heladera (5° C) y se observó que las colonias no volvieron a desarrollarse (**Fig. 12**).

5.- Normas generales de uso y seguridad de dispositivos de radiación ultravioleta

Cuando se utiliza radiación UV, es muy importante establecer normativas de seguridad y modo de uso, y medidas que aseguren el cumplimiento de las mismas. Además, para la aplicación de luz UV es necesario una adecuada protección personal, en particular la de los ojos, y el personal que utilice equipos que irradian UV deben estar debidamente entrenados.

Las personas están muy poco o nada expuestas a la radiación UV de manera natural, lo que sería altamente peligroso. La cornea absorbe casi el 100% de UV-C, pero la transmisión aumenta rápidamente para la radiación de mayor longitud de onda. Por ejemplo, de los rayos de 320 nm solo el 40% es absorbido por la córnea, el resto se transmite hacia el interior del ojo. Por su parte, el cristalino de un adulto, absorbe la mayoría de los UV, principalmente aquellos que están por debajo de los 370 nm. Sin embargo son de mayor riesgo las personas que no tienen cristalino por cirugía (afaquia), puesto que la luz UV, que normalmente es retenida el cristalino puede pasar a la retina y producir daños. En general, en una persona adulta, menos del 1% de la radiación entre 320 y 340 nm y solo el 2% de la radiación de 360 nm llega a la retina (Voke, 1999).

En los **Recuadros I y II** se detallan algunas normas generales para el uso y protección de la radiación UV y de los equipos que las emiten.

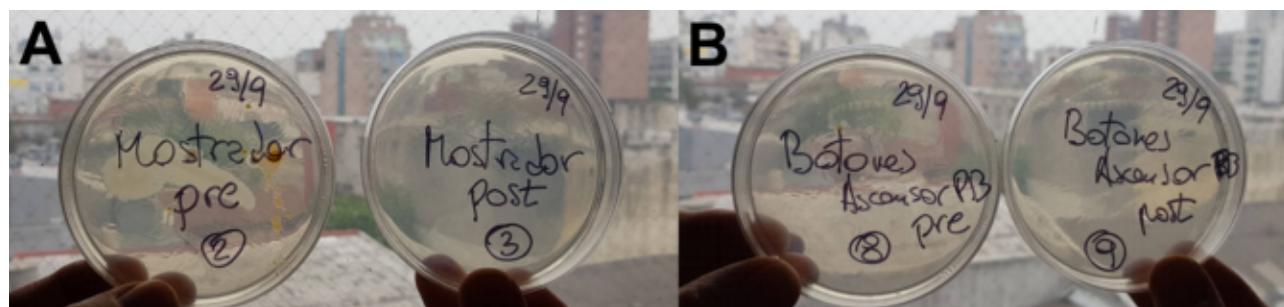


Figura 12. Cultivo de muestras sobre distintas superficies antes (pre) y luego (post) de la irradiación con luz UV-C (LED 280 nm) durante 5 min a 10 cm de distancia, y luego de 15 días de tomadas y sembradas las muestras. A: muestras tomadas desde superficie de melamina (placas 1 y 2 de la Tabla V). B: muestras tomadas desde superficie de metal acero inoxidable (placas 7 y 8 de la Tabla V). En ambos casos, las cajas de Petri pre-irradiación muestran desarrollo de colonias y las cajas de Petri post-irradiación no muestran desarrollo de colonias.

Recuadro I. *Uso y Mantenimiento de Equipos con emisión de luz ultravioleta (UV)*

- Conocer la longitud de onda con la que trabaja, o el tipo de fuente de radiación que emplea (esta información la suministra el fabricante).
- Cumplir con las recomendaciones suministradas por el fabricante sobre el manejo y cuidado de los equipos.
- Los LEDs deben ser limpiados periódicamente y se debe verificar su efectividad con cierta frecuencia.
- Conservar siempre y leer regularmente la documentación técnica y manual de uso de los equipos de desinfección por UV (capacitación del personal).
- Reducir y controlar el área de superficie sobre la que inciden estas radiaciones, orientándola o limitándola lo máximo posible.
- Verificar regularmente que el funcionamiento del equipo sea adecuado y realizada por un especialista en este tipo de elementos.
- Abstenerse de realizar reparaciones o ajustes en los equipos, esto debe ser realizado por personal capacitado quienes se encargaran de realizar mantenimiento correctivo y preventivo periódicamente programado.
- Cuando se está utilizando el sistema de desinfección en lugares públicos, se debe mantener clausurada al área de utilización de luz UV y no se debe permitir el acceso de personal no autorizado a la zona. Se debe señalar apropiadamente el área e implementar señalización visual que permita informar sobre el funcionamiento de UV. Puede utilizarse el símbolo general de radiaciones no ionizantes adaptado así: LUZ ULTRAVIOLETA EN USO.

Recuadro II. *Medidas de protección y seguridad frente a la luz ultravioleta (UV)*

- Las LEDs emiten rayos UV que pueden ser perjudiciales para la salud. Evitar la exposición directa a los ojos y la piel a la luz sin protección. Se recomienda no exponer al contacto con la piel durante largos periodos de tiempo, y especialmente evitar el contacto con los ojos.
- Informar a toda persona que utiliza radiación UV de los riesgos a que está expuesto y proveer los medios apropiados de protección.
- Efectos en la salud de la luz UV: la radiación UV, debido a que penetra poco, afecta solamente el ojo y la piel en el cuerpo humano. Las lesiones oculares se deben a la acción térmica y el daño cutáneo se debe sobre todo a reacciones fotoquímicas. Los efectos de la exposición crónica incluyen envejecimiento acelerado de la piel.
- Debe evitarse cualquier exposición innecesaria aún con los ojos y la piel cubiertos. Nunca debe mirarse directamente la fuente de emisión. No deben descubrirse las fuentes de rayos UV ya que estos rayos pueden producir lesiones en los ojos o la piel.
- Tener en cuenta que a pesar de iluminar con una longitud de onda que está en la frontera de lo visible, puede darse la aparición rebotes o reflejos en pisos, techos, paredes y objetos que potencian la irradiación del lugar; de forma tal que hay que tenerlo en cuenta a la hora de planificar los procedimientos de trabajo seguro.
- Para usar la luz UV es necesario el uso de una adecuada protección personal en particular la de los ojos. Utilizar pantallas faciales o gafas de seguridad específicamente diseñadas para proteger frente a estos riesgos (Norma europea EN170).
- El daño accidental provocado por los rayos UV sobre la piel es muy leve, parecido a quemaduras solares. En caso de accidente, cubrir las partes de la piel dañada con paños mojados, y consulta médica.
- No utilizar la luz UV en ambientes cargados de ozono porque es perjudicial para la salud.
- La luz UV puede dañar en forma progresiva y permanente algunos materiales por un efecto llamado fotocorrosión, como ser algunos tipos de plásticos, decolorar pigmentos de algunas pinturas o tintas en objetos pintados o teñidos, opacar objetos transparentes, etc..

Discusión

La radiación UV-C es un método efectivo de eliminar a una amplia gama de microbios. En esencia, la radiación UV rompe los enlaces moleculares en los ácidos nucleicos del microorganismo. Durante décadas, la radiación UV se ha venido usando como purificadora y desinfectante en alimentos, aire, residuos y esterilización de equipos médicos debido a sus eficaces resultados en la eliminación de microorganismos.

La Asociación Internacional Ultravioleta (IUVA) considera que las Tecnologías de Desinfección UV pueden jugar un importante papel en las múltiples barreras aplicadas para reducir la transmisión del virus causante del COVID-19, SARS-CoV-2, basados en actuales datos de desinfección y en evidencia empírica (IUVA, 2020). Estos resultados podrían influir sobre las tendencias epidemiológicas del COVID-19 y son importantes para el desarrollo de nuevos métodos de esterilización para contener la infección por SARS-CoV-2.

La contaminación de superficies con frecuente contacto táctil en entornos sanitarios o de alto tránsito público es una fuente potencial de transmisión viral y bacteriana. No se encontraron datos sobre la transmisibilidad de los coronavirus desde superficies contaminadas a través de la piel de las manos. Sin embargo, puede demostrarse con el virus de la gripe A que un contacto de 5 segundos puede transferir el 31,6% de la carga viral a las manos (Bean et al., 1982). Por otro lado, en un estudio observacional, se describió que los estudiantes se tocan la cara con sus propias manos en promedio 23 veces por hora, con contacto principalmente con la piel (56%), seguido de la boca (36%), nariz (31%) y ojos (31%) (Kwok et al., 2015).

El análisis de 22 estudios revela que el coronavirus humanos como el coronavirus del Síndrome Respiratorio Agudo Severo (SRAS), el coronavirus del Síndrome Respiratorio de Oriente Medio (MERS) o los coronavirus humanos endémicos (HCoV) pueden persistir en superficies inanimadas como metal, vidrio o plástico durante un tiempo de hasta 9 días. Estos virus pueden ser inactivados eficientemente por procedimientos de desinfección química superficial con etanol al 62-71%, peróxido de hidrógeno al 0,5% o hipoclorito sódico al 0,1% en 1 minuto (Kampf et al., 2020).

La irradiación germicida ultravioleta (IGUV) es un método de desinfección que utiliza radiación UV-C para inactivar mi-

croorganismos causando daños al ácido nucleico y evitando la replicación. Estudios anteriores han demostrado que UV-C puede inactivar coronavirus incluyendo coronavirus de síndrome respiratorio agudo grave (SARS-CoV) y MERS-CoV (Bedell et al., 2016). Un estudio con mascarillas (barbijos) filtrantes N95 contaminados con gripe H1N1-A encontró reducciones significativas (reducción de 3 log) después de ser tratados durante 60-70 segundos a una irradiación de 17 mW/cm², lo que resulta en una dosis IGUV (254 nm) de ~1 J/cm² (Mills et al., 2018).

La tos de un individuo infectado Covid-19 puede producir alrededor de 3.000 gotas en un amplio rango de tamaño (10⁻¹ a 10² μm) (Wang y Du, 2020). Gotas mayores de 100 μm se depositan rápidamente en superficies (García de Abajo et al., 2020). Según un estudio publicado en el *New England Journal of Medicine*, el SARS-CoV-2 puede vivir en superficies durante varias horas a días, dependiendo del material superficial, similar a las duraciones notificadas previamente para el SARS-CoV-1 (van Doremalen et al., 2020).

En la Introducción, se menciona que la IGUV es efectiva contra el SARS-CoV-2. Bianco y cols. (2020) evaluaron experimentalmente los posibles efectos virucidas de la irradiación UV-C en el SARS-CoV-2 para diferentes dosis de radiación y concentraciones de virus (1000, 5, 0,05 MOI). Tanto la inactivación del virus como la inhibición de la replicación se investigaron en función de estos parámetros. A una densidad de virus comparable a la observada en la infección SARS-CoV-2, se observó una dosis UV-C de sólo 3,7 mJ/cm² para lograr una inactivación de 3 log, y se observó una inhibición completa de todas las concentraciones virales con 16,9 mJ/cm². El dispositivo portátil UNIMORON-desinfectador desarrollado por nosotros genera dosis de 570 J/m² (57 mJ/cm²), irradiando durante 5 min a 10 cm de distancia de la superficie irradiada.

Se estima que el virus SARS-CoV-2 puede sobrevivir en superficies varios días, como el SARS y el MERS. Señalamos previamente que en la actualidad, la limpieza de las superficies y objetos se lleva a cabo con productos químicos, como lavandina, alcohol y otros desinfectantes. Con el Sistema portátil de desinfección por radiación UV-C se logrará una importante disminución efectiva de la carga microbiana, incluido el coronavirus, en lugares públicos de alto tránsito y manipulación táctil. A través de una rutina pre-programada

de exposiciones a la radiación UV-C, sería posible desinfectar los objetos y las superficies que están continuamente siendo tocadas o manipuladas y, eventualmente, contaminadas por nuevos usuarios que contactan a las mismas. Los pasamanos y picaportes en las estaciones de los sistemas de transporte, el interior de las unidades de transporte público, las oficinas públicas, los cajeros automáticos, son ejemplos de lugares en los cuales miles de personas están en contacto diariamente con las superficies, con una tasa de recambio de personas es muy alta. En los Centros de Salud, los respiradores mecánicos en uso, el equipamiento de salas de terapia intensiva o intermedia, las salas y habitaciones, los uniformes, las ambulancias también están expuestas al asiduo contacto y posible contaminación con virus y bacterias. La desinfección adecuada en estos espacios con productos químicos no siempre es práctica, puede contaminar a la persona que hace la limpieza y, además, puede dañar las superficies o el equipamiento a desinfectar. La radiación UV-C es una herramienta efectiva, segura y barata para reducir el contagio y la propagación de virus que se adhieren y sobreviven sobre superficies, como lo hace el coronavirus, causante del COVID-19.

En caso de elección de los desinfectantes químicos estándar contra el SARS-CoV-2, como un nivel adicional de protección, y para protegerse contra errores en el proceso de desinfección húmeda, la luz UV-C se puede utilizar como complemento para desinfectar superficies y equipos en seco después de que se complete el proceso manual de desinfección química. El COVID-19 es altamente contagioso y por lo tanto cualquier contaminación residual, no importa cuán pequeña sea, puede representar una amenaza para las personas.

Diversos trabajos señalan que la eficacia IGUV para la inactivación de microorganismos, además de depender del nivel y la duración de la irradiación, también se relaciona con el tipo de ácido nucleico viral, los mecanismos de reparación de células huésped y la estructura de la cápsula del virus, desempeñando estos factores un papel importante en la inactivación del virus (Thurston-Enriquez et al., 2003). Hasta ahora, las investigaciones relacionadas con virus y la IGUV sólo evaluaban los virus en el agua (Gerba et al., 2002; Thurston-Enriquez et al., 2006) y el aire (Jensen, 1964); estos estudios encontraron que la IGUV inactivaría eficaz-

mente los virus en el agua y en sus fases en el aire. En cuanto a la eficacia de la IGUV para la inactivación de virus en las superficies la información disponible no es del todo completa. Al aire, se comprobó que la humedad relativa (HR) también influye en la actividad biocida de la UV-C (Lin y Li, 2002; Jensen et al., 2005). Así, el factor de susceptibilidad para los virus fue mayor en 55% HR que en 85% HR, posiblemente porque cuando aumenta la HR, la adsorción de agua en la superficie del virus podría proporcionar protección contra el daño al ADN o ARN inducido por UV (Tseng y Li, 2007).

También, hay que tener en cuenta que para lograr el efecto germicida óptimo, la fuente de UV deberá estar a una distancia óptima de la superficie a tratar, según su intensidad. Las zonas lejanas no recibirán la misma acción germicida, ya que al incrementar la distancia se divide la energía entre la raíz cuadrada del incremento. También, es importante tener en cuenta que si un objeto es expuesto bajo un emisor UV, el lado sombreado (la parte que queda "por atrás") no recibirá la luz UV. Desde ya, hay que reconocer que en el caso en que la luz UV no pueda llegar a un patógeno en particular, este patógeno no podrá ser desactivado. La radiación UV no alcanzará a los microorganismos ocultos en las irregularidades de la superficie o si un objeto es expuesto bajo un emisor UV, el lado sombreado no recibirá la UV. El hecho que nuestro dispositivo sea portátil y fácilmente manipulable permite una mayor versatilidad, ya que para evitar las sombras se puede orientar la fuente de emisión de UV-C para que una mayor cantidad de puntos reciban radiación UV germicida. Hoy en día, hay muchos sistemas de esterilización mediante luz UV para superficie, los cuales son utilizados principalmente en la industria alimentaria para esterilizar medios de producción o en los hospitales para desinfectar ambientes, equipamiento y mobiliario. Hoy, se está ensayando para desinfectar vagones de trenes y subterráneos. Todo este equipamiento de desinfección es voluminoso y debe permanecer un tiempo prolongado en el lugar para que la radiación UV haga efecto en todos los lugares (desde ya, menos en donde se produzcan "sombras", zonas sin llegada de la radiación). No tan desarrollados están los sistemas portátiles de luz UV para uso rápido y eficiente, para actuar en ámbitos donde la instalación de sistemas UV no es factible (como hoteles, restaurantes, casas particulares) o donde la desinfección

debe ser asidua, rápida y efectiva (como en los lugares públicos y de alto tránsito). Todos estos lugares en los cuales sus superficies pueden ser tratadas con rayos UV-C, pueden alcanzar porcentajes de esterilización cercanos al 100% en función de la dosis.

Desde ya, el diseño y desarrollo de estos sistemas deben ser potentes y seguros, y certificar sistemas de sanitización y eliminación de gérmenes para desinfectar todo tipo de microorganismos invisibles en todas las superficies y objetos plausibles a la continua contaminación por los virus y otros microorganismos.

Los sistemas portátiles que permiten actuaciones rápidas, seguras y eficaces deben convertirse en herramientas importantes en entornos donde el control de infecciones es de suma importancia como estaciones de trenes y subterráneos, oficinas públicas, bancos, centros sanitarios y centros educativos. También puede extenderse a restaurantes, hoteles, cocinas profesionales o catering, dónde pueden complementar las rutinas de buena limpieza.

Infecciones Asociadas a la Atención Médica (IAAM)

Un capítulo aparte son las denominadas Infecciones Asociadas a la Atención Médica (IAAM). Los patógenos nosocomiales causan complicaciones potencialmente mortales para los pacientes y consecuencias costosas para los centros de atención médica. El papel de los trabajadores sanitarios en la transmisión de microorganismos de paciente a paciente está bien documentado, sin embargo, cada vez hay más evidencia de que las superficies de alto nivel de contacto táctil son una fuente significativa para la transmisión de patógenos que conducen a IAAM (Dancer, 2009; Weber y Rutala, 2013).

Por otro lado, en los hospitales, hoy en día muchas bacterias se están volviendo cada vez más resistentes a los antibióticos, lo que hace un ambiente hospitalario un lugar en donde necesariamente hacen falta buenas herramientas para desinfectar y eliminar la mayoría de los patógenos. En un estudio reciente se ha demostrado que la radiación UV es capaz de eliminar los tres gérmenes más problemáticos a nivel hospitalario, mejorando así la limpieza del área de cuidados intensivos, salas de medicina general y habitaciones individuales. Los agentes eliminados satisfactoriamente fueron: el *Clostridium difficile*, un disparador para infecciones in-

testinales graves, *Acinetobacter sp.*, causante de neumonía e infecciones graves del tracto urinario y los enterococos resistentes a la vancomicina (VRE, por sus siglas en inglés) que infecta la sangre, heridas y contamina los catéteres.

Durante mucho tiempo se ha reconocido la necesidad de protocolos de lavado de manos y desinfección química en superficies de alto contacto táctil en entornos de atención médica; sin embargo, los estudios han demostrado que los regímenes de limpieza no siempre se siguen y se cumplen. El método estándar para reducir y prevenir estas infecciones es la descontaminación de las habitaciones de los pacientes a través de la limpieza manual y la desinfección. Se han propuesto varios sistemas que irradian luz UV sin contacto para complementar las prácticas actuales de limpieza y desinfección hospitalaria, pero resultan en dispositivos de gran tamaño.

Las nuevas tecnologías de descontaminación sin contacto pueden ofrecer beneficios para desinfectar superficies de alto tacto en un entorno de atención médica, como estaciones de trabajo informáticas, instrumentos médicos, etc. en salas o habitaciones. Múltiples estudios han demostrado la eficacia de la luz UV para desinfección en ámbitos sanitarios (Carrico et al, 2013) y reducir las IAAM (Weber et al., 2016). La capacidad de desinfectar y reutilizar tapabocas desechables para piezas faciales filtrantes N95 (RFF) es urgentemente necesaria durante la actual pandemia COVID-19, ya que los suministros se están agotando en hospitales en todo el mundo. La IGUV es un posible método de desinfección del barbijo para facilitar la reutilización de los suministros meneguantes.

Es importante tomar en cuenta las Guías para Hospitales de la CDC (*Center for Disease Control and Prevention, E.E.U.U.*) que llama la atención acerca de que la efectividad de la utilización de la irradiación UV-C depende de cómo se absorbe la luz UV, de las partículas en suspensión o de las superficies que contienen la amenaza microbiológica. También depende del espectro de acción del microorganismo, de la variedad de diseños de los dispositivos, y factores operativos que impacten en la dosis aplicada (CDC, 2020). También, es importante considerar que este método de desinfección por radiación UV-C requiere una estrategia en el uso a fin de irradiar la totalidad de la zona a tratar, y la utilización de elementos de protección personal; por lo que es necesaria la

capacitación del personal en su utilización. Pero esta dificultad no es mayor, ni mucho menos, que con la utilización de medios químicos y húmedos tradicionales.

Ventajas de la desinfección UV-C para la seguridad y relativas a los costes

La tecnología de desinfección ultravioleta se viene desarrollando desde muchos años, pero los productos químicos siguen siendo muy prominentes en las aplicaciones de desinfección hoy en día. La desinfección UV-C, sin embargo, proporciona muchos beneficios sobre las opciones químicas. Entre ellas cabe destacar:

- El tratamiento por UV no requiere transporte, almacenamiento ni manipulación de sustancias químicas tóxicas o corrosivas peligrosas, lo que representa un beneficio para la seguridad del personal que lo utiliza y la población circundante.
- La luz UV elimina o reduce el peligro inmediato para la seguridad que supone el gas de cloro cuando se utiliza lavandina, sin crear nuevos costes a largo plazo asociados al uso de productos químicos, el transporte y la distribución.
- La luz UV no puede ser sobredosificada, y no produce emisiones de productos, toxinas o compuestos volátiles orgánicos. Tampoco genera subproductos carcinógenos de la desinfección que puedan afectar negativamente la calidad del medio ambiente.
- La desinfección por UV es muy eficaz en la inactivación de una gran diversidad de microorganismos, incluidos patógenos resistentes al cloro y coronavirus.
- Los costes operativos de la desinfección por UV vienen dados por la sustitución anual de las LEDs y el escaso consumo eléctrico.
- Con la desinfección por UV, se minimizan y/o eliminan los costes por respuestas a fugas, administración, gestión de riesgos y planificación de emergencias y formación de los operarios.
- Se puede utilizar para desinfectar sustancias comestibles, ya que la radiación UV no afectará el olor o el sabor en aplicaciones de desinfección de agua y alimentos. Además, se sabe que la luz UV mata más microbios transmitidos por agua que la cloración.

Con respecto a las infecciones asociadas a la atención médica, la limpieza y desinfección constantes de superficies de alto tacto pueden prevenirlas. Con el fin de mantener la efi-

cia, los procedimientos manuales de limpieza y desinfección requieren una educación y supervisión constantes del personal que presta el servicio (Carling et al., 2008). Los desinfectantes químicos con o sin detergentes son una forma estándar de mejorar la higiene superficial en áreas clínicas y hospitalarias, pero hay variaciones en la forma en que el personal de limpieza utiliza y aplica desinfectantes químicos. Por ejemplo, es posible que el personal no esté capacitado sobre los tipos de diluciones necesarias para diferentes superficies o en el orden de aplicación para evitar la contaminación cruzada.

Además, el personal de limpieza puede tener limitaciones de tiempo que no permiten que los productos químicos tengan el tiempo de permanencia adecuado en las superficies. Cómo se enumeró más arriba, el uso de desinfectantes químicos también presenta riesgos para la salud en el trabajo para el personal que los utiliza (Dettenkofer y Spencer, 2018). Debido a estas limitaciones de los desinfectantes químicos para la limpieza manual, los sistemas sin contacto para la desinfección y la descontaminación ambiental están siendo considerados el estándar de desinfección. Así, los sistemas de desinfección sin contacto que utilizan luz UV tipo C para generar longitudes de onda germicidas de luz (200-280 nm), han demostrado ser 95 a 99% eficaz en la eliminación de patógenos hospitalarios de superficies de alto tacto y se ha asociado con reducciones significativas en las infecciones asociadas a la atención médica (Haas et al., 2014).

Mejoras y Ventajas que se propone con nuestra propuesta de un Sistema Portátil de desinfección con UV-C

- *Utilidad:* la propuesta de utilizar radiación UV tipo C, un desinfectante natural, de bajo costo de generación y fácilmente disponible, puede ser una solución práctica y económica para evitar el contagio y expansión del coronavirus SARS-CoV-2, y otros microorganismos, desde superficies expuestas al asiduo contacto humano.
- *Practicidad y bajo costo:* nuestro sistema reemplaza a los tubos germicidas con mercurio (de mayor tamaño y menor vida útil) por la tecnología LED, de bajo costo. Además, nuestro dispositivo portátil es utilizable con baterías recargables y así aumenta las posibilidades de utilizar las ventajas de la radiación UV-C al permitir transportar, manipular y utilizar este método de desinfección en muchos más lugares.

- *Efectividad*: con el Sistema portátil de desinfección por radiación UV-C se logrará una importante disminución efectiva de la carga viral del coronavirus (y de otros virus y bacterias) en lugares públicos de alto tránsito y utilización. Así, se logra que la radiación UV-C sea una herramienta prometedora, segura y barata para reducir el contagio y la propagación de virus que se adhieren y sobreviven sobre superficies, como lo hace el coronavirus, causante del COVID-19. De los ensayos de irradiación de superficies realizadas utilizando el UNIMORON-desinfector: acero inoxidable, cerámica y melanina se demuestra la efectividad del dispositivo de radiación UV-C (LED 280 nm). En todos los casos se irradió desde una distancia de 10 cm a la superficie sembrada con bacterias o con hongos, y con un tiempo de irradiación de 5 min fue suficiente para lograr una total desinfección.

- *Protección de las superficies a desinfectar*: en la actualidad, la limpieza de las superficies y objetos se lleva a cabo con productos químicos, como lavandina, alcohol y otros desinfectantes. La desinfección adecuada con productos químicos no siempre es práctica, puede contaminar a la persona que hace la limpieza y, además, puede dañar las superficies a desinfectar (teclados, pantallas, etc.) o a la electrónica del dispositivo, lo cual se evita utilizando un sistema portátil de desinfección UV-C, a seco.

- *Centros de Salud*: se puede aplicar el dispositivo portátil a los respiradores artificiales en uso, el equipamiento de salas de terapia intensiva o intermedia y en general, en mobiliario de las salas y habitaciones. También en el interior de las ambulancias.

- *Lugares de alto y continuo tránsito*: se puede aplicar el dispositivo portátil a los pasamanos y picaportes en las estaciones de los sistemas de transporte, el interior de las unidades de transporte, las oficinas públicas, los cajeros automáticos, baños públicos, como ejemplos de lugares en los cuales miles de personas están en contacto diariamente con las superficies y objetos y la tasa de recambio de personas es muy alta. A través de una rutina pre-programada de exposiciones a la radiación UV-C, será posible desinfectar los objetos y las superficies que están continuamente siendo tocadas o manipuladas y, eventualmente, contaminadas por nuevos usuarios que contactan a las mismas.

- *Tecnología LED UV-C*: desde el punto de vista de la tec-

nología aplicada, el LED confiere particularidades ventajosas como ser: a) Encendido y apagado instantáneo; b) Bajo consumo y tecnología libre de mercurio; c) Mayor vida útil que la lámpara tubo (10 veces); d) No transfiere calor al objeto a tratar, el calor producido se lo puede conducir a la zona posterior del equipo; e) Portabilidad, característica apreciable frente a las otras soluciones, y f) Clara ventaja, desde el punto de vista de los costos comparativos con otras soluciones.

Conclusiones

El objetivo de nuestro *Sistema Portátil de desinfección con UV-C: UNIMORON-desinfector* fue desarrollar un método práctico, sin contacto y seco de las superficies a tratar.

La tecnología por IGUV no utiliza productos químicos para la desinfección. La gran diferencia de la desinfección de superficies usando luz UV-C en comparación con otros métodos químicos, es que la luz UV-C proporciona una inactivación rápida y eficiente de los microorganismos mediante un proceso físico. Cuando las bacterias, los virus, los hongos y los protozoos se exponen a las longitudes de onda germicidas de la luz UV, se vuelven incapaces de reproducirse e infectar. La bibliografía existente citada en este artículo asegura la aplicación de la UV-C para inactivar un gran número de virus y bacterias, incluyendo el Sarc-CoV-2, productor del COVID-19.

Las ventajas de la radiación UV-C frente a los tradicionales sistemas de desinfección son evidentes ya que la desinfección con luz UV es un proceso en frío que funciona sin la necesidad de añadir ningún producto químico durante todo el proceso de desinfección, lo que hace este proceso simple, barato y requiere muy poco mantenimiento. Además, en este método de desinfección al tratarse de un sistema físico, los microorganismos no son capaces de generar resistencia al proceso de desinfección. Estas ventajas y la capacidad de la radiación UV-C ha permitido la adopción generalizada de la luz UV como una forma respetuosa con el medio ambiente, sin sustancias químicas, muy eficaz para desinfectar y proteger frente a microorganismos perjudiciales.

Entre las ventajas en la utilización de luz UV-C sobre el método tradicional de limpieza con productos químicos, se puede mencionar que es apto para la desinfección de table-ros de comando y teclados de equipamiento crítico en estado

de funcionamiento donde el método tradicional húmedo es inaplicable. El uso de desinfectantes húmedos para eliminar el virus y otros microorganismos no es práctica para superficies u objetos expuestos al continuo contacto de humanos en lugares públicos y de alto tránsito, como son los hospitales, estaciones de transporte público, cajeros automáticos en bancos, oficinas públicas, etc. debido a que hay que repetir continuamente el procedimiento de desinfección.

En la actualidad, hay en uso sistemas de desinfección por radiación UV-C de gran tamaño, utilizan tubos de radiación UV-C, que se emplean para desinfectar salas hospitalarias o vagones de trenes y subterráneos. Además, necesitan largos tiempos de exposición a la radiación para que sean efectivos. También, alguno de ellos al ser equipos de ubicación fija, dejan muchos lugares con “sombras” en donde la radiación no llega. Nuestro desarrollo se basa en la utilización de LED que emiten en la banda de la radiación UV-C, que es totalmente portátil y que sirve para inactivar virus y eliminar bacterias en superficies. La radiación UV-C tiene su máxima actividad germicida a 265-280 nm.

Por lo tanto, la propuesta de utilizar radiación UV, un desinfectante natural, de bajo costo de generación y fácilmente disponible puede ser una solución práctica y económica para evitar el contagio y expansión del coronavirus SARS-CoV-2 desde superficies expuestas al asiduo contacto humano.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer al Ing. Agr. Martín Salinas y a la Lic. Karina Cuello por la asistencia técnica. Al Dr. Marcelo Hernando por facilitar el radiómetro para las mediciones. El diseño gráfico prototípico e impresión 3D de los modelos del UNIMORON-desinfectador fue realizado por el Ing. Matías Zabaty, con quien estamos profundamente agradecidos. Los fondos para esta investigación fueron provistos por la Universidad de Morón.

Referencias Bibliográficas

- Anderson JG, NJ Rowan, SJ MacGregor, RA Fouracre, and O Farish. 2000. Inactivation of food-borne enteropathogenic bacteria and spoilage fungi using pulsed-light. *IEEE Trans. Plasma. Sci.* 28:83–88.
- Bean B, BM Moore, B Sterner, LR Peterson, DN Gerding

and HH Balfour. 1982. Survival of influenza viruses on environmental surfaces. *J Infect Dis.*;146:47e51.

- Bedell K, AH Buchaklian and S Perlman. 2016. Efficacy of an Automated Multiple Emitter Whole-Room Ultraviolet-C Disinfection System Against Coronaviruses MHV and MERS-CoV. *Infect Control Hosp Epidemiol*;37:598-9.
- Bianco A, M Biasin, G Pareschi, A Cavalieri, C Cavatorta, C Fenizia, P Galli, L Lessio, M Lualdi, E Redaelli, I Saulle, D Trabattoni, A Zanutta, M Clerici. 2020. UV-C irradiation is highly effective in inactivating and inhibiting SARS-CoV-2 replication. *medRxiv* 2020.06.05.20123463; doi: <https://doi.org/10.1101/2020.06.05.20123463>
- Bintsis T, E Litopoulou-Tzanetaki and RK Robinson. 2000. Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry – a critical review. *J Sci Food Agric.*;80:637-645.
- Blair FM and RW Wassell. 1996. A survey of the methods of disinfection of dental impressions used in dental hospitals in the United Kingdom. *Br. Dent. J.* 180:369–375.
- Bolton JR, I. Mayor-Smith and KG Linden. 2015. Rethinking the concepts of fluence (UV dose) and fluence rate: The importance of photon-based units – A systemic review, *Photochem. Photobiol.*, 91: 1252–1262
- Brickner PW, RL Vincent, M First, E Nardell, M Murray and W Kaufman. 2003. The application of ultraviolet germicidal irradiation to control transmission of airborne disease: Bioterrorism countermeasure. *Pub. Health. Rep.* 118:99–114.
- Cadet J and JR Wagner. 2013. DNA base damage by reactive oxygen species, oxidizing agents, and UV radiation. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 5, a012559.
- Carling PC, MF Parry, SM Von Beheren and Group HEHS. 2008. Identifying Opportunities to Enhance Environmental Cleaning in 23 Acute Care Hospitals. *Infect Control Hosp Epidemiol.*; 29(01):1-7.
- Carrico RM, K Bryant, F Lessa, B Limbago, LL Fauerbach, JF Marx, et al. 2013. *Guide to Preventing Clostridium Difficile Infections*. Association for Professionals in Infection Control and Epidemiology, Inc. (APIC):61.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). 2008. *Guideline for Disinfection and Sterilization in Healthcare Facilities*. Disponible en: <https://www.cdc.gov/infectioncontrol/guidelines/disinfection/> Consultado: 31 de marzo 2021
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). 2020.

Disinfection and Sterilization. Disponible en: <https://www.cdc.gov/infectioncontrol/guidelines/disinfection/>

• Centers for Disease Control and Prevention (CDC). 2021. Corononavirus Disease 2019. Disponible en: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/index.html>. Consultado: 31/03/2021.

• Chan JF, S Yuan, KH Kok, KK To, H Chu, J Yang, et al. 2020. A familial cluster of pneumonia associated with the 2019 novel coronavirus indicating person-to-person transmission: a study of a family cluster. *Lancet*. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(20\)30154-9](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(20)30154-9).

• Chang JC. et al. 1985. UV inactivation of pathogenic and indicator microorganisms. *Appl. Environ. Microbiol.* 49, 1361–1365.

• Cheng Y, H Chen, LAS Basurto, et al. 2020. Inactivation of *Listeria* and *E. coli* by Deep-UV LED: effect of substrate conditions on inactivation kinetics. *Sci Rep.*;10:3411.

• Cui J, F Li, Z-L Shi. 2019. Origin and evolution of pathogenic coronaviruses. *Nat Rev Microbiol*;17(3):181–92.

• Dancer SJ. 2009. The role of environmental cleaning in the control of hospital-acquired infection. *J Hosp Infect.*; 73(4):378–85.

• de Wit E, N van Doremalen, D Falzarano and VJ Munster. 2016. SARS and MERS: recent insights into emerging coronaviruses. *Nat Rev Microbiol*;14:523e34.

• Dettenkofer M and RC Spencer. 2007. Importance of environmental decontamination -a critical view. *J Hosp Infect.*;65(Suppl 2):55–7.

• Dowell SF, JM Simmerman, DD Erdman, JS Wu, A Chaovanich, M Javadi, et al. 2004. Severe acute respiratory syndrome coronavirus on hospital surfaces. *Clin Infect Dis.*;39:652e7.

• Duizer E, P Bijkerk, B Rockx, A de Groot, F Twisk and M Koopmans. 2004. Inactivation of caliciviruses. *Appl. Environ. Microbiol.* 70:4538–4543.

• Ferenczy A, C Bergeron and RM Richart. 1989. Human papillomavirus DNA in fomites on objects used for the management of patients with genital human papillomavirus infections. *Obstet. Gynec.* 74:950–954.

• García de Abajo FJ, RJ Hernandez, I Kaminer, A Meyerhans, J Rosell-Llompart and T Sanchez-Elsner. 2020. Back to Normal: An Old Physics Route to Reduce SARS-CoV-2 Transmission in Indoor Spaces. *ACS Nano*, 14, 7704.

• Geller C, M Varbanov and RE Duval. 2012. Human coronaviruses: insights into environmental resistance and its influence on the development of new antiseptic strategies. *Viruses*; 4:3044e68.

• Gerba CP, DM Gramos and N Nwachuku. 2002. Comparative inactivation of enteroviruses and adenovirus 2 by UV light. *Appl. Environ. Microbiol.* 68:5167–5169.

• Glaab J, C Ploch, R Kelz, C Stollmacker, M Lapeyrade, NL Ploch, et al. 2015. Degradation of (InAlGa)N-based UV-B light emitting diodes stressed by current and temperature. *J Appl Phys*;118. 094504.

• Green CF, PV Scarpino, P Jensen, NJ Jensen and SG Gibbs. 2004. Disinfection of selected *Aspergillus* spp. using ultraviolet germicidal irradiation. *Can. J. Microbiol.* 50:221–224.

• Guo Y, Y Zhang, J Yan, H Xie, L Liu, X Chen, et al. 2017. Light extraction enhancement of AlGaIn-based ultraviolet light-emitting diodes by substrate sidewall roughening. *Appl Phys Lett.*;111. 011102.

• Ha JW, & DH Kang. 2013. Simultaneous near-infrared radiant heating and UV radiation for inactivating *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella enterica* serovar Typhimurium in powdered red pepper (*Capsicum annum* L.). *Applied and Environmental Microbiology*, 79, 6568–6575.

• Ha JW & DH Kang. 2014. Synergistic bactericidal effect of simultaneous nearinfrared radiant heating and UV radiation against *Cronobacter sakazakii* in powdered infant formula. *Applied and Environmental Microbiology*, 80, 1858–1863

• Haas JP, J Menz, S Dusza and MA Montecalvo. 2014. Implementation and impact of ultraviolet environmental disinfection in an acute care setting. *Am J Infect Control.*; 42(6):586–90.

• Haji Malayeri A, M Mohseni, B Cairns and JR Bolton. 2016. Fluence (UV Dose) Required to Achieve Incremental Log Inactivation of Bacteria, Protozoa, Viruses and Algae. *IUVA News 2016*.

• Inagaki H, A Saito, H Sugiyama, T Okabayashi and S Fujimoto. 2020. Rapid inactivation of SARS-CoV-2 with Deep-UV LED irradiation. *Emerg Microbes Infect.*;9(1):1744–1747. doi: 10.1080/22221751.2020.1796529.

• International Ultraviolet Association (IUVA). Hoja Informativa del IUVA para el COVID-19. Disp. en: <http://www.iuva.org/resources/Documents/Hoja%20Informativa%20del%20%20IUVA%20para%20el%20COVID-19.pdf> Consultado: 16/04/2020.

- Jensen MM. 1964. Inactivation of airborne viruses by ultraviolet irradiation. *Appl. Microbiol.* 12:418–420.
- Jensen PA, LA Lambert, MF Iademarco and R Ridzon. 2005 Guidelines for preventing the transmission of Mycobacterium tuberculosis in health-care settings, 2005. *MMWR Recomm. Rep.* 54(17):70–72.
- Kampf G. 2018. Antiseptic stewardship: biocide resistance and clinical implications. *Cham: Springer International Publishing.*
- Kampf G, D Todt, S Pfaender, et al. 2020. Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and their inactivation with biocidal agents. *J Hosp Infect.*;104(3):246–251.
- Kim SJ, DK Kim and DH Kang. 2016. Using UVC light-emitting diodes at wavelengths of 266 to 279 nanometers to inactivate foodborne pathogens and pasteurize sliced cheese. *Appl Environ Microbiol.*;82(1): 11–17.
- Kim, DK, SJ Kim & DH Kang. 2017a. Bactericidal effect of 266 to 279 nm wavelength UVC-LEDs for inactivation of Gram positive and Gram negative foodborne pathogenic bacteria and yeasts. *Food Research International*, 97, 280–287.
- Kim, DK, SJ Kim & DH Kang. 2017b. Inactivation modeling of human enteric virus surrogates, MS2, Q, and X174, in water using UVC-LEDs, a novel disinfecting system. *Food Research International*, 91, 115–123.
- Kim DK and DH Kang. 2018. UVC LED irradiation effectively inactivates aerosolized viruses, bacteria, and fungi in a chamber-type air disinfection system. *Appl Environ Microbiol.*;84(17): e00944–18.
- Kovalski, W. 2010. Ultraviolet germicidal irradiation handbook: UVGI for air and surface disinfection. *Springer Science & Business Media.*
- Kratzel A, D Todt, P V'kovski, et al. 2020. Inactivation of severe acute respiratory syndrome Coronavirus 2 by WHO-recommended hand rub formulations and alcohols. *Emerg Infect Dis.* Published online.
- Kwok YL, J Gralton and ML McLaws. 2015. Face touching: a frequent habit that has implications for hand hygiene. *Am J Infect Contr.*;43:112e4.
- Lai C-C, T-P Shih, W-C Ko, H-J Tang and P-R Hsueh. 2020. Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) and corona virus disease-2019 (COVID-19): the epidemic and the challenges. *Int J Antimicrob Agents*;105924.
- Lin CY and CS Li. 2002. Control effectiveness of ultraviolet germicidal irradiation on bioaerosols. *Aerosol. Sci. Tech.* 36:474–478.
- Lui GY, D Roser, R Corkish, NJ Ashbolt and R Stuetz. 2016. Point-of-use water disinfection using ultraviolet and visible light-emitting diodes. *Sci. Total Environ.* 553, 626e635.
- Mills D, DA Harnish, C Lawrence, M Sandoval-Powers and BK Heimbuch. 2018. Ultraviolet germicidal irradiation of influenza-contaminated N95 filtering facepiece respirators. *American journal of infection control*;46:e49–e55.
- Nishisaka-Nonaka R, K Mawatari, T Yamamoto, et al. 2018. Irradiation by ultraviolet light-emitting diodes inactivates influenza A viruses by inhibiting replication and transcription of viral RNA in host cells. *J Photochem Photobiol B. Biology*;189:193–200.
- Oguma K, Rattanukul S and J Bolton. 2016. Application of UV light emitting diodes to adenovirus in water. *J. Environ. Eng.* 142 (3).
- Oguma K and R Surapong. 2018. Inactivation kinetics and efficiencies of UV-LEDs against *Pseudomonas aeruginosa*, *Legionella pneumophila*, and surrogate microorganisms. *Water Res.* 130, 31–37.
- Organización Mundial de la Salud (OMS), ed. (27 de febrero de 2020). «Getting your workplace ready for COVID-19». Disponible en: <https://web.archive.org/web/20200228082255/https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/getting-workplace-ready-for-covid-19.pdf> Consultado: 16/04/2020.
- Otter JA, C Donskey, S Yezli, S Douthwaite, SD Goldenberg and DJ Weber. 2016. Transmission of SARS and MERS coronaviruses and influenza virus in healthcare settings: the possible role of dry surface contamination. *J Hosp Infect*; 92:235e50.
- Pirnie M, KG Linden & JP Malley. 2006. Ultraviolet disinfection guidance manual for the final long term 2 enhanced surface water treatment rule. *Environ. Prot.* 2, 1–436.
- Qiao Z. & KR Wigginton. 2016. Direct and Indirect Photochemical Reactions in Viral RNA Measured with RT6qPCR and Mass Spectrometry. *Environ. Sci. Technol.* 50, 13371–13379.
- Rabenau HF, G Kampf, J Cinatl and HW. 2005. Doerr: Efficacy of various disinfectants against SARS coronavirus. *J. Hosp. Infect.* 61:107–111.
- Raeiszadeh M & B Adeli. 2020. A Critical Review on Ultraviolet Disinfection Systems against COVID-19 Outbreak: Ap-

plicability, Validation, and Safety Considerations. *ACS Photonics*, acsphotronics.0c01245. <https://doi.org/10.1021/acs-photonics.0c01245>

- Rattanukul S and K Oguma. 2018. Inactivation kinetics and efficiencies of UV-LEDs against *Pseudomonas aeruginosa*, *Legionella pneumophila*, and surrogate microorganisms. *Water Res.*;130:31–37.
- Reed, NG. 2010. The history of ultraviolet germicidal irradiation for air disinfection. *Public Health Rep.* 125, 15–27.
- Scharffetter-Kochanek K, M Wlaschek, P Brenneisen, M Schauen, R Blanduschun and J Wenk. 1997. UV-induced reactive oxygen species in photocarcinogenesis and photoaging. *Biological Chemistry*, 378, 1247–1258.
- Schenk M, S Raffellini, S Guerrero, GA Blanco SM Alzamora. 2011. Inactivation of *Escherichia coli*, *Listeria innocua* and *Saccharomyces cerevisiae* by UV-C light: Study of cell injury by flow cytometry. *LWT- Food Science and Technology*, 44, 191–198.
- Shereen MA, S Khan, A Kazmi, N Bashir and R Siddique. 2020. COVID-19 infection: Origin, transmission, and characteristics of human Coronaviruses. *Journal of Advanced Research* 24 (2020) 91–98
- Shin JY, SJ Kim, DK Kim, and DH Kang. 2016. Fundamental characteristics of deep-UV light-emitting diodes and their application to control foodborne pathogens. *Applied and environmental microbiology*, 82(1), 2-10.
- Stadnytskyi V, CE Bax, A Bax and P Anfinrud. 2020. The airborne lifetime of small speech droplets and their potential importance in SARS6CoV62 transmission. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 202006874 doi:10.1073/pnas.2006874117.
- Thurston-Enriquez JA, CN Haas, J Jacangelo, K Riley and CP Gerba. 2003. Inactivation of feline calicivirus and adenovirus type 40 by UV radiation. *Appl. Environ. Microbiol.* 69:577–582.
- Tseng CC and CS Li. 2007. Inactivation of Viruses on Surfaces by Ultraviolet Germicidal Irradiation, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 4:6, 400-405, DOI: 10.1080/15459620701329012
- van Doremalen N, T Bushmaker, DH Morris, MG Holbrook, A Gamble, BN Williamson, A Tamin, JL Harcourt, NJ Thornburg, SI Gerber, JO Lloyd-Smith, E de Wit, VJ Munster. 2020. Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1. *N. Engl. J. Med.* 2020, 382, 1564-1567
- Vilhunen SMS. 2010. Recent developments in photochemical and chemical AOPs in water treatment: a mini-review. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 9, 323e330.
- Voke J. 1999. Radiation effects on the eye. Part 3b - Ocular effects of ultraviolet radiation. *OT*; July:37-40.
- Wang J, J Yan, Y Guo, Y Zhang, Y Tian, S Zhu, et al. 2015. Recent progress of research on III-nitride deep ultraviolet light-emitting diode. *Scientia Sinica Physica, Mechanica Astronomica*; 45. 067303-1–20.
- Wang L , Y Wang , D Ye and Q Liu. 2020. Review of the 2019 novel coronavirus (SARS-CoV-2) based on current evidence. *Int J Antimicrob Agents*; 55(6):105948. doi: 10.1016/j.ijantimicag.2020.105948. Epub 2020 Mar 19.
- Wang W, Y Xu, R Gao R, et al. 2020. Detection of SARS-CoV-2 in different types of clinical specimens. *JAMA*; 323(18): 1843–1844.
- Wang J and G Du. 2020. COVID-19 May Transmit through Aerosol. *Ir. J. Med. Sci.*, DOI: 10.1007/s11845-020-02218-2.
- Weber DJ, H Kanamori and WA Rutala. 2016. ‘No touch’ technologies for environmental decontamination. *Current Opinion in Infectious Diseases.*;29(4):424-431.
- Weber DJ and WA Rutala. 2013. Understanding and preventing transmission of healthcare-associated pathogens due to the contaminated hospital environment. *Infect Control Hosp Epidemiol.*;34(05):449–52.
- Wigginton KR and T Kohn. 2012. Virus disinfection mechanisms: the role of virus composition, structure, and function. *Curr. Opin. Virol.* 2, 84–89.
- World Health Organization (WHO). Coronavirus disease (COVID-19) pandemic. Disponible en: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019> Consultado el: 23 de marzo de 2021.
- Wu F, S Zhao, B Yu, YM Chen, W Wang, ZG Song, et al. 2020. A new coronavirus associated with human respiratory disease in China. *Nature.*;579:265–9.
- Würtele M, T Kolbe, M Lipsz, A Külberg, M Weyers, M Kneissl and M Jekel. 2011. Application of GaN-based ultraviolet-C light emitting diodes—UV LEDs—for water disinfection. *Water research*, 45(3), 1481-1489.
- Zhou P, X Yang, XG Wang, B Hu, L Zhang, W Zhang, et al. 2020. A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin. *Nature*; 579:270–3.

