

Evaluación de la luz ultravioleta (UVA, UVB y UVC) como agente bactericida contra *Escherichia coli* (Migula) Castellani y Chalmers- ATCC® - 25922

Diego Samir Melo-Solarte¹, Jhon Fredy Betancur Pérez², William Narváez-Solarte³


Resumen

Objetivo: Evaluar la eficacia bactericida de tres tipos de luz ultravioleta según su longitud de onda: UVA (315 nm - 400 nm), UVB (280 nm - 315 nm) y UVC (200 nm - 280 nm). **Materiales y métodos:** Se realizaron dos procesos en la fase experimental, el primero consistió en la obtención del inóculo bacteriano *E. coli*; las bacterias crecieron en medio de cultivo LB líquido a una OD de 600 nm, donde se obtuvo una concentración de $3,9 \times 10^7$ UFC/ml, posteriormente se sembraron 30 μ l de bacterias en cajas de petri con medio de cultivo LB sólido. La segunda fase consistió en el montaje y disposición de la luz UV, en este caso se usaron LED por cada tipo de luz UV, los cuales permitieron el diseño de tres lámparas con diferente potencia (1, 3, 5 watts/LED); una vez inoculadas las bacterias en el medio de cultivo, cada placa se irradió con una lámpara utilizando potencias de 0,051 w/cm², 0,152 w/cm² o de 0,254 w/cm², en intervalos de 1, 3 y 5 minutos y con una distancia fija de exposición de la lámpara al cultivo de 1cm, posteriormente las placas de petri se dejaron a 37°C durante 16 horas. **Resultados:** Las lámparas que utilizan luz UVA no tuvieron ningún tipo de efecto sobre las bacterias; las lámparas que generan luz UVB afectaron levemente el crecimiento de las bacterias, solo en condiciones de alta potencia y tiempos de exposición prolongados; las lámparas UVC lograron cumplir con el efecto bactericida eliminando la totalidad de las bacterias del área de incidencia directa de la luz UV. **Conclusión:** La luz UVA y UVB no tienen efectos marcados como bactericidas, mientras que la luz UVC tiene un efecto bactericida en el área de incidencia, independiente de la potencia y el tiempo de exposición.


Palabras clave: luz ultravioleta, bactericida, UVA, UVB, UVC, *E. coli*.

*FR: 10 VIII 2023. FA: 6 XI 2023.


¹ Ph.D. en Desarrollo Sostenible. Profesor titular Facultad de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Manizales, Manizales, Colombia. E-mail: mdiego@umanizales.edu.co

 orcid.org/0000-0003-0941-6697 Google Scholar

² Ph.D. en Ciencias. Profesor asociado Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad de Manizales, Manizales, Colombia. E-mail: jfbetancur@umanizales.edu.co

 orcid.org/0000-0002-5979-1498 Google Scholar

³ Ph.D Nutrición Animal. Departamento de Salud Animal, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia. E-mail: wnarvaez@ucaldas.edu.co

 orcid.org/0000-0003-4698-3818 Google Scholar

CÓMO CITAR:

Melo-Solarte, D. S., Betancur-Pérez, J. F. y Narváez-Solarte, W. (2023). Evaluación de la luz ultravioleta (UVA, UVB y UVC) como agente bactericida contra *Escherichia coli* (Migula) Castellani y Chalmers- ATCC® - 25922. *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. Univ. Caldas*, 27(2), 117-126. <https://doi.org/10.17151/bccm.2023.27.2.7>



Evaluation of UVA, UVB and UVC ultraviolet light as a bactericidal agent against *Escherichia coli*

Abstract

Objective: To evaluate the bactericidal efficacy of three types of ultraviolet light according to their wavelength: UVA (315 nm - 400 nm), UVB (280 nm - 315 nm) and UVC (200 nm – 280 nm). **Materials and methods:** Two processes were carried out in the experimental phase. The first process consisted of obtaining the bacterial inoculum *E. coli*. The bacteria grew in liquid LB culture medium at an OD of 600 nm, where a concentration of 3.9×10^7 CFU/ml was obtained. Subsequently, 30 μ l of bacteria were seeded in petri dishes with solid LB culture medium. The second process consisted of the assembly and arrangement of the UV light. In this case, LED were used for each type of UV light which allowed the design of three lamps with different power (1, 3, 5 watts/per LED). Once the bacteria were inoculated in the culture medium, each plate was irradiated with a lamp using powers of 0.051 w/cm², 0.152 w/cm² or 0.254 w/cm² at intervals of 1, 3 and 5 minutes and with a distance fixed exposure of the lamp to the of 1cm culture. Afterwards, the petri dishes were left at 37°C for 16 hours. **Results:** The lamps using UVA light did not have any type of effect on the bacteria. Lamps that generate UVB light slightly affected the growth of bacteria only under conditions of high power and long exposure times. The UVC lamps managed to fulfill the bactericidal effect by eliminating all the bacteria from the area of direct incidence of the UV light. **Conclusion:** UVA and UVB light do not have marked bactericidal effects, while UVC light has a bactericidal effect in the area of incidence, independent of the power and exposure time.

Key words: ultraviolet light, bactericide, UVA, UVB, UVC, *E. coli*.

Introducción

Desde el descubrimiento de la luz ultravioleta por parte de Johann Wilhelm Ritter en 1801 (Davidson, 2014), han sido múltiples los usos dados a este tipo de radiación: detección de billetes falsos, verificación de la originalidad de los documentos, identificación de material combustible en incendios, inspección de obras de arte, tratamientos de belleza, y como herramienta bactericida, entre otros (Fontal *et al.*, 2005). Este último aspecto ha sido uno de los cuales ha cobrado gran relevancia, especialmente ahora que se han tenido emergencias sanitarias por diversidad de agentes patógenos, como bacterias resistentes a antibióticos, hongos y virus, donde las personas se han apurado por encontrar mecanismos, ya sean físicos o químicos, que permitan limpiar y desinfectar elementos de uso común en clínicas, laboratorios y superficies de trabajo, de tal manera que se pueda garantizar espacios bioseguros (Diab-El Schahawi *et al.*, 2021).

La luz ultravioleta (UV) hace parte de la región del espectro electromagnético que se ubica en el rango intermedio entre la luz visible y los rayos X, es decir, comprende el

rango de longitud de onda que va desde los 100 hasta los 400 nm. Al considerar los efectos de la radiación UV en la salud humana y el medio ambiente, esta se clasifica en tres tipos: luz ultravioleta A (UVA), ubicada en el rango de longitud de onda de los 315 a 400 nm, considerada como luz UV de onda larga; luz ultravioleta B (UVB), que tiene una longitud de onda entre los 280 y 315 nm, también conocida como luz UV de onda media; y finalmente, la luz ultravioleta C (UVC), que se ubica en el rango que va de los 200 a los 280 nm, también llamada como luz UV de onda corta. El intervalo de la luz UV comprendido entre los 10 y 200 nm se considera luz UV extremo o de vacío (Fontal et al., 2005; Tarrán, 2012).

El sol como principal fuente de luz visible del planeta Tierra, genera diferentes tipos de radiaciones, entre ellas la radiación ultravioleta. Sin embargo, la luz UVC no logra traspasar la atmósfera ya que es absorbida por la capa de ozono; lo mismo sucede con la luz UVB, la cual se absorbe de manera parcial, motivo por el cual, la radiación que reciben los seres vivos es en alto porcentaje UVA y una mínima porción de UVB (Fontal et al., 2005). No obstante, estas pequeñas porciones de UV que logran ingresar a la tierra inciden en los seres vivos, ya sea de manera positiva o negativa (Guerrero-Beltrán y Barbosa-Cánovas, 2004).

En la actualidad, existen diversas opciones de lámparas de luz ultravioleta en el mercado que se ofrecen para desinfectar y eliminar gérmenes patógenos (Alves et al., 2021). Sin embargo, es importante tener en cuenta que no todas son soluciones eficaces. Algunas de estas lámparas pueden ser someras o incluso falsas soluciones, ya que no cumplen con su función prometida. Por lo tanto, es esencial evaluar cuidadosamente la calidad y el rendimiento de cada lámpara antes de elegir una para garantizar una desinfección efectiva. Byrns et al. (2021) en su investigación sobre los usos y limitaciones de la lámpara ultravioleta germicida portátil para la desinfección de superficies, afirma que estos artefactos que emiten radiación UV presentan varios inconvenientes que pueden afectar la eficacia de su actividad desinfectante. En particular, muchos de estos problemas son causados por una manipulación deficiente por parte del usuario; por lo tanto, es importante tener en cuenta los posibles riesgos asociados con el uso de este tipo de artefactos y tomar medidas para garantizar su correcta manipulación, a fin de obtener los mejores resultados en términos de desinfección.

Según McMullen et al. (2021), la desinfección de grandes espacios como las salas hospitalarias se ha convertido en un verdadero reto, y sostiene que es allí donde la luz ultravioleta puede hacer su aporte complementario a los procesos de desinfección tradicional, convirtiéndose en una alternativa de desinfección libre de compuestos químicos y no nociva para el medio ambiente. Respecto a lo que los autores plantean, y a las emergencias sanitarias que se viven en la actualidad, se han reportado trabajos investigativos enfocados en atenuar los efectos generados por patógenos como ha sido el caso de SARS-Cov-2; por medio de estas metodologías se han encontrado alternativas

para disminuir la incidencia de este tipo de agentes causales de la enfermedad respiratoria (Briones-Cando, 2020; Heilingloh et al., 2020; Inagaki et al., 2020; Kumar et al., 2021).

En otros escenarios, como el caso de la industria de alimentos, se ha empleado la luz ultravioleta como agente físico para disminuir el ataque de microorganismos, considerando a la luz UV como una técnica limpia, dado que no genera residuos o subproductos en el proceso, como olores y sabores indeseables, a la vez que se conservan las características físicas como textura y consistencia de los alimentos (Alcántara-Muñoz et al., 2016; Delorme et al., 2020). Por estas y otras razones, las lámparas de luz UV se perfilan como una opción prometedora para reducir la presencia de microorganismos, tanto en el instrumental de laboratorio como en superficies de trabajo en clínicas e industrias de alimentos, entre otros entornos.

Resumen El objetivo de esta investigación ha sido evaluar el efecto bactericida de la luz ultravioleta emitida mediante dispositivos LEDs sobre el crecimiento en placa de Petri de microorganismos sobre los que se establecen límites legales en los alimentos. Se ha diseñado un equipo de alimentación eléctrica con temporización precisa y cámara para evitar fugas lumínicas en el que se han conectado dos dispositivos de emisión de radiación ultravioleta mediante tecnología LEDs a diferentes longitudes de onda: mediante una matriz de LEDs (array; Delorme *et al.*, 2020) due to the increased consumer demand for more natural and healthier products, nonthermal technologies have been intensively studied. Irradiation with shortwave ultraviolet light (UV-C. Por estas y otras razones, las lámparas de luz UV se perfilan como una opción prometedora para reducir la presencia de microorganismos, tanto en el instrumental de laboratorio como en superficies de trabajo en clínicas e industrias de alimentos, entre otros entornos.

El objetivo de la presente investigación consistió en evaluar diferentes espectros de luz ultravioleta (UVA, UVB y UVC) y su incidencia en el crecimiento bacteriano (*E. coli*).

Materiales y métodos

Se llevó a cabo una investigación de tipo descriptivo y observacional, donde fueron empleados tres tipos de lámparas LED (por su nombre en inglés, *Light Emitting Diode*) ultravioleta de acuerdo con su longitud de onda. El primer tipo correspondió a LED UVA en el rango 390 nm a 400 nm, con una potencia de 0,5 watt por cada LED; el segundo tipo fue LED UVB en el rango de 395 nm a 310 nm con una potencia de 1,0 watt por cada LED; y, finalmente, el tercer tipo atañó a LED UVC en el rango de 260 nm a 275 nm, con una potencia de 0,5 watt por cada LED. Teniendo en cuenta la potencia de cada LED, se diseñaron nueve lámparas con intensidad generadora de luz de 1, 3 y 5 watts para lograr potencias de irradiación de 0,051; 0,152 y 0,254 w/cm², respectivamente, sobre líneas celulares *E. coli* (One Shot, XL1 Blue).

Para la preparación del inóculo, se tomaron las líneas celulares *E. coli* (One Shot, y XL1 Blue), se replicaron en medio de cultivo LB (Luria Bertani) sólido; una vez crecieron las bacterias se inocularon en medio de cultivo LB líquido donde crecieron durante 16 horas a 37°C, posteriormente se midió la OD (difracción óptica) a 600 nm con el fin de realizar el cálculo de la concentración de bacterias.

Una vez conocida la concentración de bacterias en el medio, se realizó la inoculación de las bacterias, que sirvieron para evaluar los tratamientos de las diferentes longitudes de onda de la luz UV, utilizando cajas de petri con medio de cultivo LB sólido, en las que se inocularon 30 µl de bacterias, a una concentración de $3,9 \times 10^7$ UFC/ml.

El proceso consistió en exponer los cultivos bacterianos de *E. coli* a radiaciones ultravioleta, controlando variables que podrían incidir en el efecto bactericida: tipo de bacterias (*E. coli* - One Shot y XL1 Blue); concentración de bacterias en el medio de cultivo ($3,9 \times 10^7$ UFC/ml); potencia de la radiación de luz ultravioleta generada (uno, tres y cinco watts); tiempo de exposición (uno y cinco minutos en el experimento I; uno, tres y cinco minutos en el experimento II); y la distancia a la cual se aplicó la radiación (un centímetro).

Experimento I

Con el fin de realizar una evaluación rápida de la incidencia de la luz UV sobre los cultivos bacterianos, se prepararon 24 cajas de petri con medio agar Luria-Bertani (LB) y se inocularon con la bacteria *E. coli* One Shot. Estas se dividieron en cuatro grupos, cada uno con seis repeticiones; tres grupos correspondieron a los tratamientos experimentales consistentes en irradiación con un tipo de luz ultravioleta, según el rango de potencia, emitida por lámparas LED (UVA, UVB, UVC) y dos tiempos de exposición: 1 y 5 minutos; y el grupo restante fue usado como tratamiento control del experimento.

Experimento II

Este experimento, considerado como la fase de validación y contraste de resultados, se realizó con el objetivo de comprobar la eficiencia en la inoculación de los diferentes tipos de radiación UV. Se prepararon 36 cajas de petri con medio LB, las que se inocularon con la bacteria *E. coli* XL1 Blue; posteriormente se irradiaron las cajas con cada tipo de luz UV (UVA, UVB, UVC) a diferentes potencias (0,051 w/cm², 0,152 w/cm² o de 0,254 w/cm²), en intervalos de tiempo de 1, 3 y 5 minutos y a una distancia fija de exposición de la lámpara al cultivo de un centímetro. Simultáneamente, se montaron como controles, bacterias que no recibieron ningún tipo de radiación y cajas de petri con medio LB sin inóculo, que recibieron radiación con el fin de descartar cualquier tipo de contaminación.

Los procesos de inoculación y radiación se llevaron a cabo en cabina de flujo laminar. Una vez montado todo el experimento, se pusieron las bacterias en un horno a una temperatura de 37°C durante 24 horas, posteriormente se procedió a evaluar de manera individual cada muestra, encontrando los resultados que se presentan a continuación.

Resultados y discusión

En la Tabla 1 se presenta los resultados de las radiaciones efectuadas sobre los cultivos de la bacteria *E. coli* (One Shot), se puede observar que las radiaciones UVA no tienen ningún tipo de efecto bactericida sobre las muestras expuestas a radiaciones a corto y a largo tiempo, tanto con baja como con alta potencia.

Tabla 1. Resultados de radiaciones UVC sobre bacterias *E. coli* One Shot.

Resultados de radiaciones UVC sobre bacterias <i>E. coli</i> One Shot.						
Potencia Tiempo	UVA		UVB		UVC	
	1 w	5 w	1 w	5 w	1 w	5 w
1 minuto	+++	+++	+++	+++	UFC 14	UFC 3
5 minutos	+++	+++	+++	++	UFC 5	---

Fuente: Elaboración propia.

* Los signos más (+) y menos (-), indican el crecimiento (+) o no crecimiento (-) bacteriano, (+++) indican elevado crecimiento de bacterias, (++) moderado crecimiento de bacterias, (+) bajo crecimiento de bacterias, UFC (Unidad Formadora de Colonias), w: watts.

En el caso de los rayos UVB, se pueden observar pequeñas afectaciones sobre las muestras, consistentes en una leve reducción en el crecimiento de las bacterias, principalmente, de aquellas con exposiciones de alta duración y altas potencias; este resultado permite determinar que los rayos UVB no poseen una buena actividad bactericida, dado que la afectación en el crecimiento de las bacterias es inferior al 10%.

Finalmente, en el caso de exposiciones con radiación UVC, se puede constatar que la inhibición en el crecimiento bacteriano se mantenía con el tratamiento de baja potencia y poco tiempo de exposición. En el conteo de las unidades formadoras de colonias (UFC) se encontró un promedio de 14 UFC en las placas expuestas, porcentaje muy despreciable si se realiza la proporción con respecto a la cantidad del inóculo inicial ($3,9 \times 10^7$ UFC/ml). Ahora bien, el aumento de la potencia genera mayor radiación, lo que permite cubrir mayor área de exposición y por lo tanto genera mayor reducción en las UFC; del mismo modo, el aumento del tiempo de

exposición permitió corroborar similar tendencia en la disminución de las UFC. De esta manera se deduce que, a mayor tiempo de exposición, es más eficiente el efecto bactericida de los UVC, logrando inhibir totalmente el crecimiento bacteriano con una potencia de 5 watts y un tiempo de exposición de 5 minutos.

Basados en los resultados del test preliminar (experimento I), se diseñó el experimento II que tenía por objetivo, poder reproducir los resultados del primer test, se realizaron algunas variaciones, en esta segunda fase del experimento se aumentó el número de unidades de muestreo (caja de petri con medio LB e inóculo bacteriano), adicionalmente, se trabajó con una potencia intermedia de 3 watts y se cambió la línea celular por la bacteria *E. coli* XL1 Blue (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados de radiaciones UVC sobre la bacteria *E. coli* XL1 Blue.

Resultados de radiaciones UVC sobre la bacteria <i>E. coli</i> XL1 Blue.									
Potencia Tiempo	UVA			UVB			UVC		
	1 w	3w	5 w	1 w	3w	5 w	1 w	3w	5 w
1 minuto	+++	+++	+++	+++	+++	+++	---	---	---
5 minutos	+++	+++	+++	+++	++	++	---	---	---

Fuente: Elaboración propia.

* Los signos más (+) y menos (-), indican el crecimiento (+) o no crecimiento (-) bacteriano, (+++) indican elevado crecimiento de bacterias, (++) moderado crecimiento de bacterias, (+) bajo crecimiento de bacterias, UFC (Unidad Formadora de Colonias), w: watts.

Como se puede observar, el segundo experimento permitió reproducir los resultados del primer test. Los cultivos irradiados con rayos UVA no tuvieron ningún tipo de afectación; por otra parte, se observó una leve reducción de bacterias en los cultivos irradiados con rayos UVB de 3 y 5 watts en una exposición de 5 minutos; no obstante, con este resultado, no es posible afirmar que se cumpla con el objetivo de lograr el efecto bactericida con esas exposiciones de irradiación UVB. Finalmente, se logró evidenciar que en las irradiaciones de rayos UVC con baja, media y alta potencia evaluadas, hubo un alto efecto bactericida sobre las muestras analizadas (Tabla 1); tal como se observa, las radiaciones UVC afectan el crecimiento de a las bacterias, pero de manera zonificada, es decir, donde el LED generador de luz UVC tiene incidencia directa, lo cual se calcula en distancias que pueden llegar hasta los 5 cm desde el LED hasta la ubicación de las bacterias (Figura 1).



Figura 1. Resultado de cultivo de bacteria *E. coli* irradiado con rayos UVC.
Fotografía: Jhon Fredy Betancur Pérez

La Figura 1 muestra de manera gráfica, el comportamiento de los cultivos de la bacteria *E. coli* expuesta a radiaciones de rayos UVC. En ella se puede observar dos zonas: una en la cual tuvo incidencia directa de radiación y por ende afectación en el crecimiento y desarrollo de las bacterias; y otra en la que se identifican UFC bacterianas. Así, se demuestra que la distancia y la incidencia de luz tienen efectos bactericidas, evitando el efecto sombra (Pietrobon-Tarrán, 2012), constituyéndose en dos variables que determinan la efectividad del efecto bactericida que puedan tener los rayos UVC.

Según Rossel-Bernedo *et al.* (2020) y González Pérez *et al.* (2015), la luz ultravioleta es una buena alternativa para procesos de desinfección o eliminación de bacterias que pueden ser ingeridas por las personas y que puedan causar problemas en su salud, como microorganismos patógenos, entre ellos la bacteria *E. coli*. Se realizó la investigación en el Laboratorio de Control de Calidad de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la EPS, EMSA Puno, debido a que las normas vigentes exigen que las lecturas de coliformes totales y termotolerantes en el agua potable deben de ser 0 UFC/100 ml, siendo la radiación UV-C una alternativa para la disminución en el uso del Cloro. Por lo que se experimentó con una dosis de $0,00176 \text{ W/cm}^2 / \text{s}$ de radiación UV-C con una longitud de onda dominante de 254 nm, las muestras de agua experimentales fueron sometidas a 1, 2, 3, y 4 segundos de exposición a la mencionada radiación. Para la determinación de la presencia bacteriana en agua (coliformes totales y termotolerantes) sin embargo, es importante considerar aspectos físicos que permitan realizar un proceso de manera eficiente, como es el tiempo de exposición o la generación de sombras, ya que a través de este experimento, se puede observar que los rayos de luz UVC tienen un efecto bacteriano en el momento que las bacterias están expuestas en la superficie de trabajo o en

cualquier elemento sometido a este proceso, como lo afirma Millán *et al.* (2015), aunque cabe resaltar que no todos los tipos de luz UVC tienen el mismo efecto.

En síntesis, la luz UVC tiene un alto potencial bactericida; sin embargo, por las características propias de este tipo de luz, en las que se conoce que la longitud de onda afecta el material genético (ADN) de diferentes seres vivos (Bohórquez-Ballén y Pérez-Mogollón, 2007) visible y ultravioleta (UV, de acuerdo con los resultados es plausible considerar que la luz UVC se convierte en una excelente opción para desarrollar mecanismos que protejan a las personas de la contaminación y la dispersión de agentes patógenos en situaciones específicas, como la manipulación de elementos de laboratorio o el contacto con superficies potencialmente infectadas, siempre y cuando se logre solucionar algunas barreras como la potencia de las radiaciones, la distancia a la cual se puede tener efectos, el tiempo de radiación y el evitar la generación de sombras (mediante el uso de una mayor cobertura en las lámparas), entre otros.

Por otro lado, es necesario tener en cuenta las barreras de protección y bioseguridad para los usuarios, ya que si bien la luz UVC puede ser altamente efectiva para inhibir el crecimiento de microorganismos (células procariotas), como observan Alves *et al.* (2021), también se debe considerar sus posibles efectos perjudiciales sobre las células eucariotas de los seres humanos. Por lo tanto, es fundamental implementar medidas de seguridad adecuadas para evitar la exposición directa a la luz UVC y minimizar cualquier riesgo potencial para la salud humana.

Conclusiones

No todos los tipos de rayos UV exhiben propiedades bactericidas, ya que cada uno de ellos se emite en diferentes longitudes de onda (UVA, UVB y UVC), por lo tanto, su efecto bactericida puede variar significativamente.

La luz UVC demuestra un efecto bactericida contundente, incluso a bajas potencias y exposiciones cortas de tiempo, este impacto se logra gracias a su tipo de radiación y longitud de onda la cual oscila entre los 200 nm y 280 nm.

Recomendaciones

Debido a los efectos perjudiciales que los rayos UV tienen sobre los seres vivos, es recomendable evitar su exposición, para prevenir posibles daños causados por este agente físico.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad de Manizales por el apoyo en actividades de laboratorio.

Referencias bibliográficas

- Acha, P. y Szyfres, B. (2001). *Zoonosis y enfermedades transmisibles comunes al hombre y a los animales: Bacteriosis y Micosis* (O. P. S. (ed.)), Organización Mundial de la Salud.
- Alcántara-Muñoz, F., Moreno-Rojas, R., Moreno-Ortega, A., Muñoz-Cañete, J. y Gómez-Díaz, R. (2016). Nulo efecto bactericida de la radiación ultravioleta emitida por diodos LED. *Journal of Negative & No Positive Results*, 1(6), 210-215. <https://doi.org/10.19230/jonnpr.2016.1.6.1083>
- Alves, D. B. P., Saraiva, L. L., Souza, H. P. de O. D., Mota, M. S. de A. y Santana, D. L. (2021). Effectiveness of decontamination methods in tissue masks with ultraviolet light and ozone gas. *Research, Society and Development*, 10(15), e138101522846. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i15.22846>
- Bohórquez-Ballén, J. y Pérez-Mogollón, J. F. (2007). Radiación ultravioleta. *Ciencia & Tecnología para la Salud Visual y Ocular*, 5(9), 97. <https://doi.org/10.19052/sv.1520>
- Briones-Cando, N. A. (2020). Luz ultravioleta para desinfección en áreas de salud, frente al covid-19. revisión de literatura. *Odontología Activa Revista Científica*, 5(3), 111-118. <https://doi.org/10.31984/oactiva.v5i3.501>
- Byrns, G., Barham, B., Yang, L., Webster, K., Rutherford, G., Steiner, G., Petras, D. y Scannell, M. (2021). Usos y limitaciones de la lámpara ultravioleta germicida portátil para la desinfección de superficies. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 18(1), S75-S85. <https://doi.org/10.1080/15459624.2021.1877057>
- Davidson, M. W. (2014). Pioneers in Optics: Johann Wilhelm Ritter and Ernest Rutherford. *Microscopy Today*, 22(2), 48-51. <https://doi.org/10.1017/s1551929514000029>
- Delorme, M. M., Guimarães, J. T., Coutinho, N. M., Balthazar, C. F., Rocha, R. S., Silva, R., Margalho, L. P., Pimentel, T. C., Silva, M. C., Freitas, M. Q., Granato, D., Sant'Ana, A. S., Duarte, M. C. K. H. y Cruz, A. G. (2020). Ultraviolet radiation: An interesting technology to preserve quality and safety of milk and dairy foods. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 102, pp. 146-154). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.06.001>
- Diab-El Schahawi, M., Zingg, W., Vos, M., Humphreys, H., Lopez-Cerero, L., Fueszl, A., Zahar, J. R. y Presterl, E. (2021). Ultraviolet disinfection robots to improve hospital cleaning: Real promise or just a gimmick? In *Antimicrobial Resistance and Infection Control* (Vol. 10, Issue 1). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s13756-020-00878-4>
- Fontal, B., Suárez, T., Reyes, M., Bellandi, F., Contreras, R. y Romero, I. (2005). *El espectro electromagnético y sus aplicaciones*. VII Escuela Venezolana para la Enseñanza de la Química, 151.
- González-Pérez, D., Rosas-Casals, M. y González-Avilés, M. (2015). *Tratamiento ultravioleta del agua a escala doméstica: sistema de desinfección solar usando la óptica anidálica*. Universitat Politècnica de Catalunya. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/108440>
- Guerrero-Beltrán, J. A. y Barbosa-Cánovas, G. V. (2004). Review: Advantages and limitations on processing foods by UV light. In *Food Science and Technology International*, 10(3), 137-147. SAGE Publications. <https://doi.org/10.1177/1082013204044359>
- Heilingloh, C. S., Aufderhorst, U. W., Schipper, L., Dittmer, U., Witzke, O., Yang, D., Zheng, X., Sutter, K., Trilling, M., Alt, M., Steinmann, E. y Krawczyk, A. (2020). Susceptibility of SARS-CoV-2 to UV irradiation. *American Journal of Infection Control*, 48(10), 1273-1275. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2020.07.031>
- Inagaki, H., Saito, A., Sugiyama, H., Okabayashi, T. y Fujimoto, S. (2020). Rapid inactivation of SARS-CoV-2 with Deep-UV LED irradiation. In *Emerging Microbes and Infections* (pp. 1744-1747). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/22221751.2020.1796529>
- Kumar, A., Sagdeo, A. y Sagdeo, P. R. (2021). Possibility of using ultraviolet radiation for disinfecting the novel COVID-19. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, 34, 102234. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2021.102234>
- Maniatis, T., Fritsch, E. y Sambrook, J. (1982). *Molecular: a laboratory manual*. Cold Spring Harbor Laboratory Press, 545. <https://www.amazon.com/-/es/Michael-R-Green/dp/1936113422>
- McMullen, K., Guth, R. M., Wood, H., Mueller, C., Dunn, G., Wade, R., Siddiqui, A., Dubberke, E. R., Woeltje, K. F. y Warren, D. K. (2021). Impact of no-touch ultraviolet light room disinfection systems on Clostridioides difficile infections. *American Journal of Infection Control*, 49(5), 646-648. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2020.08.030>
- Millán, D., Romero, L., Brito, M. y Ramos-Villarreal, A. (2015). Luz ultravioleta: inactivación microbiana en frutas. *Saber*, 27(3), 454-469. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-01622015000300011
- Pietrobon-Tarrán, E. (2012). Desinfección por Luz Ultravioleta. *Revista Agua Latinoamérica*. <http://ecured.cuwww.agualatinoamerica.com/docs/pdf/3-4-02inter.pdf>
- Rossel-Bernedo, L. J., Rossel-Bernedo, L. A., Mayhua, F. Ferro-Gonzales, A. L. y Zapana-Quispe, R. R. (2020). Radiación ultravioleta-c para desinfección bacteriana (coliformes totales y termotolerantes) en el tratamiento de agua potable. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(1), 68-77. <https://dx.doi.org/10.18271/ria.2020.537>