



INFORMACIÓN ILUMINACIÓN UV PARA DESINFECCIÓN



1. CONCEPTO Y DEFINICIONES

1.1 RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

La luz visible, los infrarrojos, los Rayos X, la radiación ultravioleta, etc., son distintas formas de radiación electromagnética. Todas estas formas de radiación transfieren energía desde un punto de un espacio a otro y se mide en longitudes de onda.

La radiación ultravioleta (RUV) es la energía electromagnética emitida en longitudes de onda menores que las producidas en el espectro visible por el ojo humano.

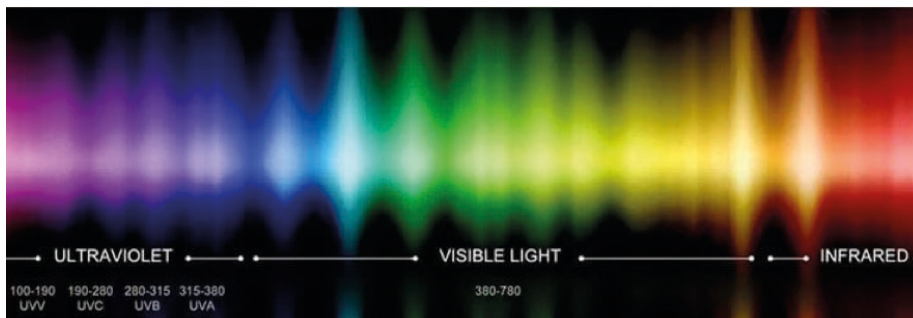


Gráfico 1

Tal como observamos en el gráfico 1 la radiación ultravioleta empezaría en los 100 nm y acabaría en los 380 nm aproximadamente, justo cuando empieza lo que las personas denominamos luz. De hecho, aunque su comportamiento es como el de la radiación visible, el concepto “luz” ultravioleta no es muy acertado ya que para el ser humano es invisible.

1.2. HISTORIA

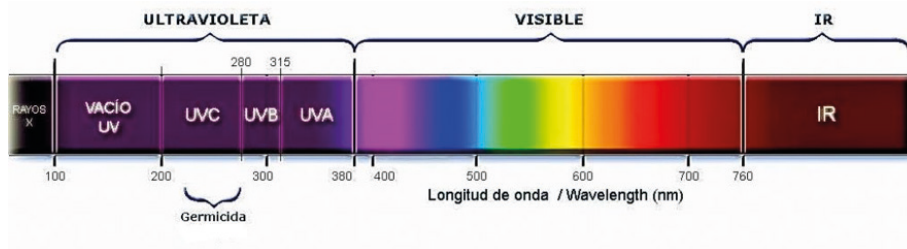
A principios del siglo XIX el físico alemán Johann Wilhelm Ritter descubrió que la radiación invisible situada justo antes del color violeta del espectro visible producía cambios químicos en diferentes materiales. Los denominó rayos desoxidantes para diferenciarlos de los que había al otro lado del espectro visible, y descubiertos poco antes, con el nombre de rayos calóricos.

Poco después se adoptó el término de rayos químicos y calóricos respectivamente. Durante bastante tiempo así fueron denominados hasta que se han impuesto, a partir del siglo XX, los términos de radiación ultravioleta para los rayos químicos y radiación infrarroja para los rayos calóricos.

Como no es posible ver esta radiación también se le ha denominado “luz negra” aunque este concepto ha quedado más para el rango 350 nm a 400. Desde su descubrimiento se observó que determinadas sustancias, materias, etc. reaccionaban devolviendo un resplandor o fluorescencia que no tenían antes de recibir la radiación ultravioleta. Este fenómeno es utilizado en la actualidad en diferentes áreas como la del ocio, ciencia forense, industria y otras donde se le sigue llamando “luz negra”.

1.3. TIPOS DE UV

Según su longitud de onda se diferencian cuatro tipos de radiación ultravioleta: UV-A, UV-B, UV-C y ultravioleta de vacío o UV-V.



UV-A

Es la banda de los 320 nm a 380 nm. Siendo la más cercana a al espectro visible es, también, la que traspasa la capa de ozono y llega a la superficie terrestre. La más conocida por el gran público ya que se utiliza por ejemplo en tratamientos de belleza, dermatología y diagnosis médica. Es la llamada luz negra.

UV-B

Banda de los 280 a 320 nm. En su viaje desde el Sol cuando llega a la atmosfera terrestre es casi totalmente absorbida por el ozono presente en la ozonosfera llegando muy poca cantidad a la superficie de nuestro planeta. De hecho, es la interacción de las moléculas de oxígeno con la radiación ultravioleta la que genera dicha capa de ozono. Diversos estudios la relacionan con el melanoma y otros tipos de cáncer de piel. Este tipo de radiación es la que menos aplicaciones tiene en la actualidad.

UV-C

Es la radiación situada entre los 200 nm y 280 nm. Interacciona con el ADN y el ARN provocando daños normalmente irreparables. Es por tanto el espectro germicida al tener la capacidad de inactivar los diferentes tipos de microorganismos. En la superficie terrestre se generan artificialmente ya que no logran traspasar la estratosfera. El espectro comprendido entre 250 nm y 280 nm es el considerado germicida.

UV-V

Espectro comprendido entre los 100 nm y 200 nm. Se denomina ultravioleta de vacío debido a que sólo puede transmitirse en un espacio donde se haya practicado el vacío, en caso contrario es absorbida por el oxígeno del aire, dando como resultado ozono. Su utilización en la actualidad prácticamente se limita a la espectrofotometría.

2. APLICACIONES

La radiación ultravioleta (luz ultravioleta, luz negra o rayos químicos) tiene diferentes aplicaciones. Su característica principal es que sus fotones son altamente energéticos, éstos son absorbidos por las moléculas provocando reacciones fotoquímicas. Normalmente cada "evento" fotoquímico implica la absorción de un fotón por molécula.

2.1. INDUSTRIA

El uso de RUV (radiación ultravioleta) en la industria está ampliamente extendido desde hace bastantes años.

Sus usos más frecuentes son:

- Comprobación de materiales y pruebas no destructivas
- Curado de sustancias adhesivas, pinturas, tintes, etc.
- Control de plagas
- Minería
- Investigación de incendios
- Autenticación de moneda o documentos



2.2. COSMÉTICA, INVESTIGACIÓN Y MEDICINA

Otro de los ámbitos donde el uso de la RUV está ampliamente extendido es en el sector sanitario:

- Terapias con luz ultravioleta
- Ciencia forense
- Laboratorios de investigación
- Biología
- Cosmética



2.3. GERMICIDA

Es, quizás, el aspecto más conocido de la aplicación de la RUV junto con las relacionadas con belleza y cosmética. Éstas últimas son, normalmente, aplicaciones de la radiación UVA mientras que la vertiente germicida es fundamentalmente radiación UVC.

Ampliamente utilizada desde hace años para la inactivación de microorganismos en el aire y en el agua. Existe numerosa literatura científica probando su efectividad y su aplicación en la desinfección del agua está ampliamente extendida. De igual manera su uso en sistemas de climatización o purificación del aire es frecuente. Sin embargo, en la desinfección de espacios, superficies, etc. no lo es tanto, debido a que su funcionamiento exige el desalojo de estos espacios.

3. UVC COMO INACTIVADOR DE MICROORGANISMOS

3.1. UN POCO DE HISTORIA

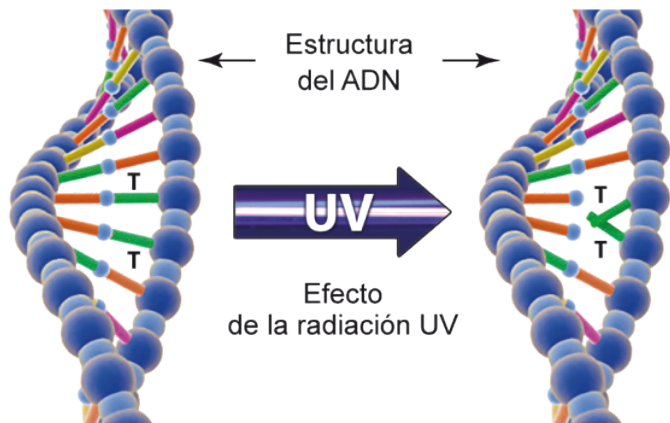
Los efectos que las radiaciones del Sol tenían en los microorganismos, y su efecto germicida, fueron descritos por primera vez por Downs y Blunt en 1878. La aplicación práctica de la RUV requirió, sin embargo, el desarrollo de la lámpara de vapor de mercurio como fuente de luz UV artificial en 1901 y el desarrollo del cuarzo como material ideal para su construcción en 1905. Los primeros intentos experimentales para usar RUV como desinfectante de agua se hicieron en Marsella, Francia en 1910. La RUV fue usada, también, en los Estados Unidos entre 1916 y 1926, para la desinfección de agua y posteriormente utilizada en barcos para proveerlos de agua potable. Sin embargo, el bajo costo de la desinfección de agua con cloro combinado con problemas operativos y de confiabilidad observados en los primeros equipos y lámparas fabricadas, retardaron la aplicación de UV hasta el decenio de 1950. (*Groocock, 1984; Schenck, 1981; USEPA, 1996*).

A mediados de los años 50, en Suiza y Austria, se empezaban a aplicar de forma más o menos extensa en la desinfección del agua. A partir de los años 60 se extendió su uso tanto en Europa como en los Estados Unidos, en algunos casos combinando su empleo con cloro. En la actualidad miles de plantas potabilizadoras utilizan la RUV-C en sus instalaciones.

Desde los años 90 su empleo en aparatos de climatización por aire se ha ido, de igual forma, implantando. Su efectividad está siendo refrendada por diversos organismos y asociaciones nacionales e internacionales por sus enormes beneficios y nulos residuos. En el caso del aire se reportan grandes beneficios no sólo como germicida sino también como catalizadora de compuestos que origina una oxidación fotocatalítica eliminando, de esta manera, una gran cantidad de contaminantes del aire.

3.2 EFECTO GERMICIDA DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

La RUV-C penetra la pared celular de los microorganismos, siendo absorbida por el material genético (ADN o ARN), generando daños y retardando la capacidad de los microorganismos para sobrevivir, lo que lleva a su inactivación (incapacidad de replicación) o muerte de la célula (Bolton, 2008; U.S.EPA 2002; U.S.EPA 2004).



El mecanismo implica la absorción de un fotón UV por las bases de pirimidina (principalmente timina) donde dos bases de pirimidina están una al lado de la otra en la cadena de ADN. La "fotoquímica" implica la formación de un "dímero" que une las dos bases. Esto provoca una interrupción en la cadena de ADN, de modo que cuando la célula sufre mitosis (división celular), se inhibe la replicación del ADN. En el caso de virus de cadena ARN la base afectada por el fotón ultravioleta sería el uracilo formándose dicho dímero.

Este proceso se debe a la absorción selectiva de longitudes de onda por parte de ciertas moléculas biológicas:

El ADN y el ARN absorben radiación a 260-265 nm, debido al enlace doble entre las posiciones 4 y 5 de las bases púricas y pirimidínicas.

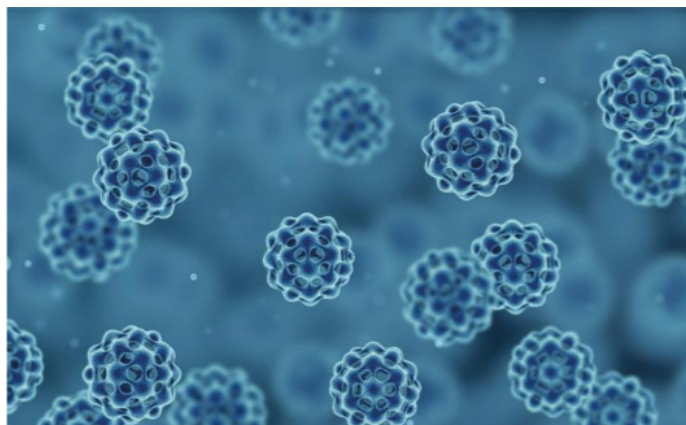
Los rayos UV no tienen actividad ionizante, pero provocan estos cambios químicos en las moléculas absorbentes, de modo que aparecen las moléculas alteradas antes mencionadas, éstas son denominadas fotoproductos. Los fotoproductos originan la inactivación de macromoléculas, aunque, como veremos más adelante, el ADN dispone de mecanismos para paliar o eliminar estas modificaciones potencialmente lesivas.

Por lo tanto, **el espectro de acción biológica de la luz UV equivale al de absorción del UV por el ADN (260-265 nm)**. La horquilla o rango de longitud de onda óptimo para el efecto germicida va desde los 250 a los 270 nm (Bolton, 2008; Gross y Farrel-Poe, 2004; U.S.EPA, 1999), existen estudios que aumentan la horquilla de este rango de 220 nm a 290nm.

3.2 EFOTOPRODUCTOS DEL ADN OCASIONADOS POR LA LUZ UV

Estos daños o fotoproductos generados por la luz RUV-C en el ADN derivan principalmente de alteraciones en las bases pirimidínicas (citosina, timina) provocando dímeros de pirimidina (anillo ciclobutano).

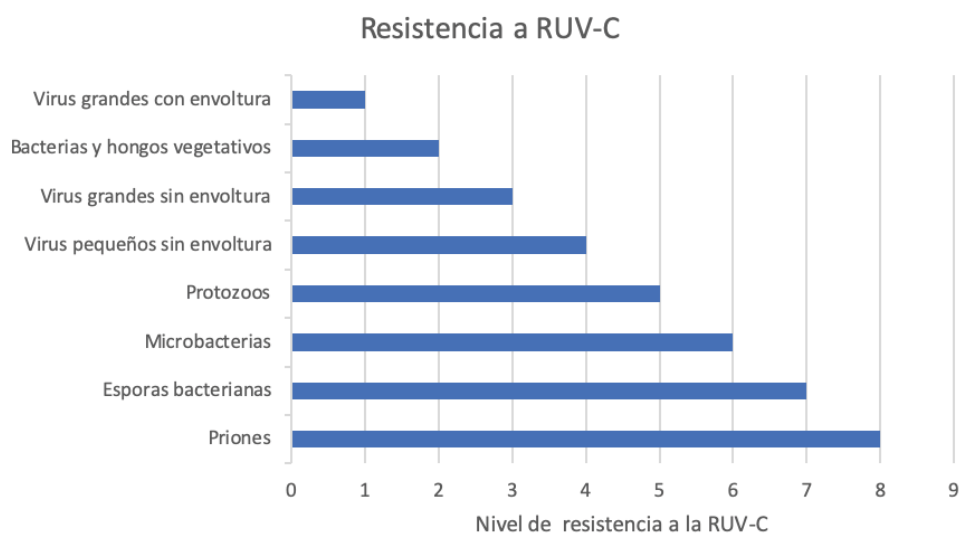
Los dímeros de pirimidina son los fotoproductos más importantes. El principal es el dímero de timina (T-T), aunque también se producen T-C y C-C. Se trata de aductos (uniones) entre dos pirimidinas adyacentes en la misma hebra de ADN, mediante la creación de un anillo de ciclobutano. Su efecto principal es la distorsión local de la configuración de la doble hélice, que inter-



fiere en el normal emparejamiento de bases complementarias; ello, a su vez, provoca una interferencia en los procesos de replicación y transcripción, y secundariamente en el crecimiento y la respiración.

A dosis muy altas de rayos UV se forman también dímeros entre pirimidinas de las dos cadenas, es decir, se provocan entrecruzamientos de las dos hebras que igualmente afectan a la replicación y a la transcripción, aunque este tipo de daños reviste menos significación biológica.

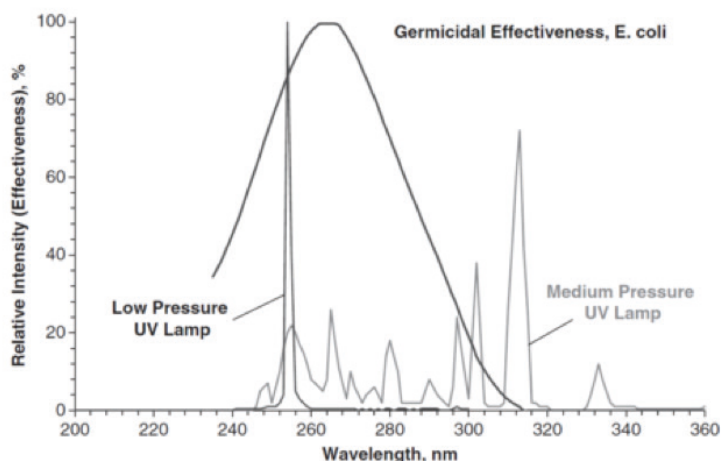
En general las bacterias son menos resistentes a la radiación UV que los virus, y estos a su vez son menos resistentes que las esporas de bacterias. Los ooquistes de protozoos son los más resistentes a la radiación UVC (*Milan Misovic et al. 2013*).



3.4 LED VS 253.7 NM

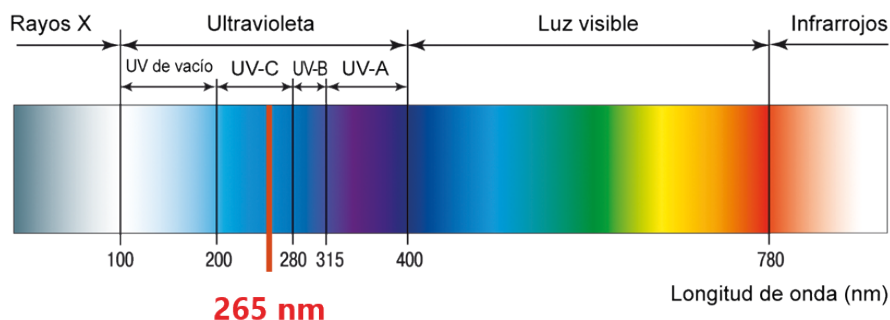
Entonces, ¿Cuál es la longitud de onda óptima para la desinfección?

Existe la idea, errónea, de que 254 nm es la longitud de onda óptima para la desinfección, esto es debido a que la longitud de onda máxima de una lámpara de mercurio de baja presión (determinada simplemente por la física de la lámpara) es de 253.7 nm. De hecho, la mayoría de radiómetros de UVC están calibrados a esta longitud de onda. Durante mucho tiempo no ha habido otra opción y 254 nm ha quedado como la longitud de onda ideal cuando sólo era una limitación propia de la tecnología existente.



La longitud de onda de 265 nm se puede aceptar como la óptima, para un mayor número de microorganismos (Bolton, 2008; Gross y Farrel-Poe, 2004; U.S.EPA, 1999), ya que es el pico de la curva de absorción de ADN. Sin embargo, la desinfección ocurre en un rango de longitudes de onda diferentes dependiendo del microorganismo a irradiar.

Por ejemplo, la longitud de onda óptima para la inactivación de *E. Coli*, es de aproximadamente 265 nm, la cual es alrededor de un 15% más eficaz que el pico de UV-C de 254 nm. Por otra parte, la longitud de onda óptima para la inactivación de *Bacillus subtilis* es de 270 nm, y esto es aproximadamente un 40% más eficaz que el pico de UV-C de 254 nm (W. Kowalski 2009), y la longitud de onda óptima para erradicar los ooquistes de *Cryptosporidium parvum* es de 271 nm y esto es, aproximadamente, un 15% más eficaz que el pico de UV-C de 254 nm (W. Kowalski 2009).



Vemos, por tanto, que las longitudes de onda de absorción máxima de ADN son diferentes dependiendo del germen lo cual no implica que, a otras longitudes de onda, no pueda verse inactivado dicho germen, simplemente, para su inactivación la dosis sería más alta.

Hasta hace poco tiempo, las lámparas de mercurio de RUV-C se han considerado la mejor opción para la desinfección y esterilización, esto es así porque históricamente estas lámparas han sido la única opción de desinfección y esterilización. Con los avances de la tecnología UV LED, hay nuevas opciones que son más pequeñas, más robustas, libres de toxinas, de larga duración, de bajo consumo y permiten unos ciclos de apagado y encendido casi infinito. Estas características nos permiten, a los fabricantes, que las soluciones sean más pequeñas o alimentadas por batería, o portátiles etc., además con un efecto germicida instantáneo, sin esperar a que la lámpara se caliente para llegar a un funcionamiento correcto.

Las lámparas de mercurio de baja presión emiten una luz casi monocromática con una longitud de onda de 253.7 nm. Las lámparas de mercurio de alta y media presión también se usan para desinfección y tienen una distribución espectral mucho más amplia que incluye, también, longitudes de onda germicidas. En cambio, los LED UVC pueden fabricarse para emitir en longitudes de onda muy específicas y estrechas. Esto permite que las soluciones se adapten a las necesidades particulares de la aplicación.

¿Quiere decir esto que se puede usar una sola longitud de onda para desinfectar todos los gérmenes? Pues podríamos decir que sí, se puede usar una sola longitud de onda. Sin embargo, los gérmenes tienen diferentes longitudes de onda de absorción óptimas, fuera de estas longitudes óptimas es necesario aumentar el tiempo de exposición a la RUV-C. En cualquier caso, es importante, conseguir la dosis necesaria para la inviabilidad del organismo a tratar, o sea conseguir su incapacidad de reproducción y por consiguiente su incapacidad de infección, de esta forma evitaremos los mecanismos de autorreparación del ADN/ARN.

Hay que tener en cuenta que cualquier objeto que se encuentre entre la fuente de luz y el objetivo bloqueará el UVC, lo que dará como resultado áreas sombreadas. De la misma forma, una estancia sucia, puede contener infinidad de motas de polvo o partículas diversas que pueden provocar estas sombras y los microorganismos que queden tras una de estas partículas y la fuente de luz podría no recibir la dosis adecuada.

Otra cuestión importante, en el momento de realizar los cálculos, es que la tasa de reflexión de la radiación UV es baja, por lo que las áreas sombreadas requieren un tiempo o ciclo más largo para alcanzar el mismo nivel de desinfección o dosis que un área en línea directa de luz. Por el contrario, hasta cierto punto, la luz UV puede reflejarse en las superficies para alcanzar incluso la parte posterior de los objetos. Esta capacidad de reflexión depende en gran medida del material de las superficies. Por ejemplo, el material orgánico absorberá fuertemente, tendrá poca penetración y bloqueará la reflexión de la radiación UVC, este es otro motivo por el que las superficies deben limpiarse manualmente para eliminar las sustancias orgánicas antes de la descontaminación.

3.5. DOSIS DE INACTIVACIÓN

La cantidad de inactivación es directamente proporcional a la dosis de UVC que se recibe, y esta a su vez es el resultado de la intensidad y la duración de la exposición:

$$\text{Dosis} = \text{intensidad} \times \text{tiempo}$$

Cuanto más lejos esté la fuente de luz, menos UVC alcanzará el objetivo, por lo que sólo queda una cuarta parte de la UVC cuando la distancia se duplica. Esto es debido, como cualquier fenómeno ondulatorio, a la aplicación de Ley de la Inversa del Cuadrado cuya intensidad es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia al centro donde se originan, en el caso que nos ocupa, la fuente de la luz. Esto significa que los objetos cercanos a la fuente de luz tendrán una mayor exposición, por lo tanto, ciclos de desinfección más cortos en comparación con los objetos más alejados.

3.5.1. REDUCCIÓN LOGARÍTMICA

Después de que los microorganismos hayan sido sometidos a la RUV-C deben sufrir una reducción en su número, un log (logaritmo) equivale a una reducción de un 90%:

Reducción logarítmica	Porcentaje reducción	Microorganismos eliminado
1	90%	900.000
2	99%	990.000
3	99.9%	999.000
4	99.99%	999.990
5	99.999%	999.999

La magnitud que se utiliza por tanto para indicar la radiación a la que se han sometido unos microorganismos es la Dosis de Radiación Ultravioleta. El término dosis se utiliza para describir la capacidad total de energía que necesitamos que un microorganismo absorba para eliminar e inhabilitar su reproducción. Como hemos indicado anteriormente, la dosis es el producto de intensidad de radiación por el tiempo de exposición:

$$D = I \cdot t$$

Donde:

$$I = \text{Intensidad de radiación UV. } \frac{\text{mW}}{\text{cm}^2}$$

t = tiempo en segundos

$$D = \text{dosis UV. } \frac{\text{mWs}}{\text{cm}^2} = \frac{\text{mJ}}{\text{cm}^2}$$

Los estudios sobre diversas bacterias han demostrado que la dosis requerida para la desinfección (en este caso, la reducción en un 99,99%) para las bacterias generalmente varía entre 2 y 25 mJ/cm² (con algunas cepas resistentes que requieren dosis de hasta 100 mJ/cm²).

El mismo estudio muestra valores ligeramente más altos en general para virus, típicamente entre 10 y 100 mJ/cm² (y para adenovirus, más hacia el rango de 100-200 mJ/cm²). Para diferentes virus de la familia Coronaviridae, como el coronavirus, se requiere una dosis de poco menos de 30 mJ/cm² en promedio, que parece ser la dosis establecida para neutralizar el virus de la pandemia actual en un 99,99%.

Ejemplos de Sensibilidad de Patógenos a la luz RUV-C (reducción de 4 log):

Microbio	Dosis mJ/cm ²	Tipo
Campylobacter Jejuni	5	Bacteria
Helicobacter Pylori	7.5	Bacteria
Staphylococcus Aureus	10	Bacteria
Streptococcus Faecalis	11	Bacteria
Escherichia Coli	13	Bacteria
Enterococcus Faecalis	13	Bacteria
SARS Coronavirus Cov-P9	16	Virus
Murine Coronavirus	26	Virus
Murine Norovirus	27	Virus
Calicivirus Feline	30	Virus
Clostridium Pasteurianum	10	Espora
Streptomyces Griseus	26	Espora
Penicillum Expansum	65	Espora
Streptomyces cerevisiae (yeast)	130	Hongo
Tetraselmis suecica	1000	Alga

Fuente: US EPA, 815-D-03-007

Ejemplos de Sensibilidad de Patógenos a la luz RUV-C (reducción de 4 log):

Microbio	Dosis mJ/cm ²	Tipo
Escherichia Coli	3.5/7.3	Bacteria
Salmonella Typhi	6.4	Bacteria
Legionella Pneumophila	6.9	Bacteria
Giardia	11	Bacteria
Cryptosporidium Parvum	12	Bacteria
Hepatitis A Virus	12/22	Virus
Rotavirus SA11	23/26	Virus

Fuente: US EPA, 815-D-03-007

3.5.2. TIEMPOS REQUERIDOS

El valor mJ/cm² es una magnitud que sirve a los técnicos, ingenieros, etc. para calcular número de luminarias, distancias, etc. y poder de esta manera dimensionar una instalación de RUV-C o para diseñar dispositivos capaces de desinfectar un determinado espacio.

¿Pero cuánto de efectiva puede ser una de estas instalaciones o dispositivo? Evidentemente, todo depende de la cantidad de RUV-C, ya que la otra variante es el tiempo en segundos, aumentando uno reducimos el otro, y a la inversa, para conseguir la dosis requerida, pero una habitación media de hospital con una instalación adecuada puede quedar descontaminada en 15 minutos con una reducción muy importante de la carga patogénica, estos tiempos son suficientes incluso para las zonas “sombreadas”. (*Room decontamination with UV radiation. Rutala W, Gergen M, Weber D. Infect Control Hosp Epidemiol 2010; 31 (10):1025-9*).



Bacillus Anthracis

3.5.3. FOTORREPARACIÓN

Algunos microorganismos son capaces de reparar y revertir los efectos destructivos de la RUV cuando se aplica en **dosis bajas**. Esta reactivación se conoce como fotorreactivación, la cual necesita luz visible (400-700 nm) para efectuarse y, reactivación en oscuro, cuando el microorganismo se repara en ausencia de luz. (*U.S.EPA, 2004; Bolton,2008*).

Una dosis adecuada es la que tiene en cuenta estos mecanismos de autorreparación. **Es importante destacar que los virus no tienen mecanismos de reparación para invertir el daño creado por la luz UV.** La habilidad de la bacteria y otros microbios para fotorrepararse está relacionada directamente a la extensión del daño UV, la exposición a la luz reactivadora y a otros factores tales como la temperatura y el pH de las superficies que contienen los microorganismos. Es paradójico, o como mínimo curioso, cómo el mismo mecanismo físico que induce el daño, la luz, es el que luego utiliza el microorganismo, aunque en otra longitud de onda, para su reparación. La enzima que induce este proceso es la fotoliasa, dicha enzima es propia de microorganismos, plantas y numerosos animales, sin embargo, el ser humano y los mamíferos en general no disponen de dicha enzima.

En cualquier caso, una dosis adecuada, impide la correcta reparación. Sabiendo que los virus no disponen de este proceso de reparación y que, como norma general, sus dosis son más altas que las de las bacterias, aplicando al entorno objeto de desinfección dosis para inactivar virus, conseguimos, también, la inactivación de las bacterias con suficiente daño en su ADN como para impedir la fotorreparación.

4.VS OTRAS TECNOLOGIAS DE DESINFECCIÓN

4.1. DESINFECCIÓN QUIMICA MANUAL

La RUV-C, en conjunción con los sistemas clásicos/químicos de desinfección, pueden ofrecer diversas barreras contra la propagación de bacterias, virus y microorganismos en general. Algunos estudios comparan la desinfección química manual vs la RUV-C, siendo más eficaz esta última, pudiendo quedar la desinfección manual, con productos químicos, como complemento de la RUV-C. (Armellino D GK, Thomas L, Walsh T, Petraitis V. (2020). Comparative evaluation of operating room terminal cleaning by two methods: Focused multivector ultraviolet (FMUV) versus manual-chemical disinfection. Am J Infect Control.)

La aplicación de desinfectantes químicos tradicionales suele hacerse de manera manual por el personal de limpieza correspondiente. El hecho de ser manual confiere un aspecto de imprecisión al proceso, independientemente del producto utilizado.

4.2. OZONO

El ozono se encuentra en la actualidad en revisión por la Agencia Europea de Productos Químicos. Se desconocen las dosis necesarias y la eficacia en determinados microorganismos, aunque sí parece ser eficaz en hongos. No se encuentra en el listado oficial de viricidas publicado por el Ministerio de Sanidad atendiendo a la Norma UNE-EN 14476.

Recientemente ANECPA (Asociación Nacional de Empresas de Sanidad Ambiental) realizó una consulta al Ministerio de Sanidad para conocer si el ozono se podía utilizar en la desinfección de superficies y las condiciones de empleo para garantizar su eficacia. Esta fue su respuesta:

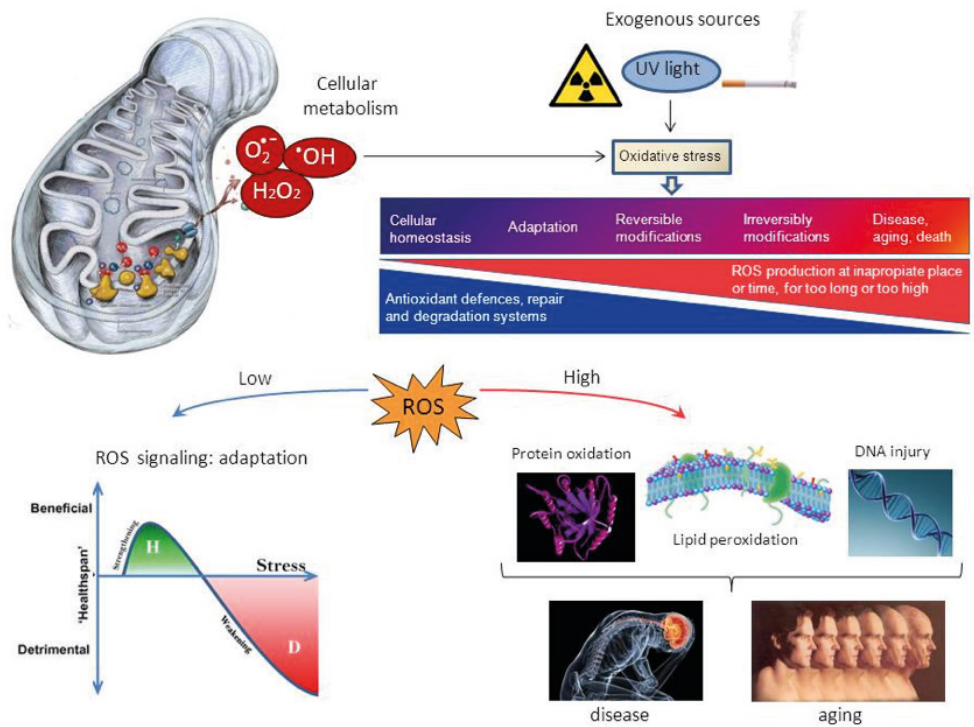
“En relación a la cuestión que nos plantea, puesto que el ozono no ha sido todavía evaluado a nivel europeo y tampoco a nivel nacional durante el periodo transitorio, no podemos responder a esta cuestión. Únicamente se puede utilizar el ozono cuando ha sido notificado de acuerdo con la Disposición Transitoria segunda del RD 1054/2002, y bajo la responsabilidad del fabricante o comercializador.”

El Ministerio de Sanidad publicó una nota a este respecto el 27/04/20 y entre otras consideraciones recogía las siguientes medidas en caso de utilización:

- No se puede aplicar en presencia de personas.
- Los aplicadores deben contar con los equipos de protección adecuados.
- Al ser una sustancia química peligrosa, puede producir efectos adversos.
- En el inventario de clasificación de la ECHA (Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas) se notifica la clasificación de esta sustancia como peligrosa por vía respiratoria, irritación de piel y daño ocular.
- Se deberá ventilar adecuadamente el lugar desinfectado antes de su uso.
- Puede reaccionar con sustancias inflamables y puede producir reacciones químicas peligrosas al contacto con otros productos químicos.

4.3. RADICALES DE HIDROXILO (OH)

Recientemente se están comercializando otro tipo de sistemas de desinfección basados en los radicales libres de hidroxilo. El radical de hidroxilo (según la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC) el adjetivo libre no se debe utilizar) es la sustancia química más reactiva que se conoce y esta propiedad es la que le confiere su poder biocida, en este sentido igual que los desinfectantes químicos tradicionales. Su procedencia puede ser endógena ya que el metabolismo de nuestro cuerpo produce cierta cantidad de radicales responsables de los procesos de envejecimiento, mutagénesis, enfermedades degenerativas, etc. Su procedencia exógena es debida al



humo del tabaco, la contaminación atmosférica, radiaciones ionizantes, pesticidas, entre otras fuentes. Como consecuencia de sus efectos en la salud, en los últimos años, las dietas antioxidantes han tenido gran éxito como forma de combatir el aumento de los radicales en nuestro cuerpo.

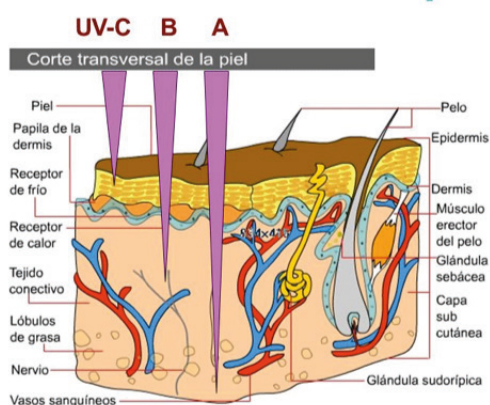
La presencia en el aire, al producirse, es de microsegundos por su alta reactividad, pero suficiente para generar daños en el ADN de las células de los seres vivos. Su utilización es, como poco, igual de “peligrosa” que el ozono debiendo aplicar las mismas precauciones. Otros aparatos de esta tecnología dicen poder funcionar en presencia de personas siendo poco probable que, en concentraciones efectivas como germicidas, sean inocuos para la salud. Son tecnologías muy nuevas que deben ser comprobadas a diferencia de la RUV C que cuenta con más de un siglo de historia y cientos de estudios científicos que refrendan su efectividad.

5. FUTURO 222 NM

La absorbanca y la penetración en la epidermis de la RUV-C son dos conceptos fundamentales a la hora de entender la interacción con la piel de los animales y el ser humano. La gran absorbanca de la RUV-C por parte de la materia orgánica implica una penetración mínima a través de la epidermis. Y esto es así cuanto más lejos del espectro visible (más corta la longitud de onda) se sitúe la radiación, es posible que se pierda eficacia desinfectante, pero se conseguiría un nivel de seguridad que podría permitir la presencia de personas cuando esté funcionando la RUV-C. La investigación en este campo puede abrir un abanico de posibilidades tales como la de implementar este método, recordemos que es una desinfección libre de sustancias químicas, en presencia constante de personas como por ejemplo entornos sanitarios, transportes públicos, etc.

Las enfermedades infecciosas transmitidas por el aire, como la gripe y la tuberculosis, representan un importante desafío público de salud. Una forma de prevenir la transmisión es la inactivación en el aire de los patógenos y el gran potencial antimicrobiano en el aire de la RUV-C se conoce desde hace mucho tiempo; sin embargo, su uso generalizado en entornos públicos es limitado porque las fuentes de luz UVC convencionales son tanto cancerígenas como cataractogénicas (proceso de formación de cataratas).

Penetración en la piel



Por el contrario, se ha demostrado previamente que la RUV-C lejana (207–222 nm) inactiva eficazmente las bacterias sin dañar la piel de los mamíferos expuestos. Esto es porque, debido a su fuerte absorbanca en materiales biológicos, la RUV-C lejana no puede penetrar ni siquiera el exterior (células muertas) de las capas de piel u ojo humano; sin embargo, como las bacterias y los virus son de dimensiones más pequeñas (micrométricas), la RUV-C lejana puede penetrarlos e inactivarlos. Un estudio reciente demuestra por primera vez que la RUV-C lejana inactiva eficazmente los virus suspendidos en el aire, con una dosis muy baja de 2 mJ/cm² de luz de 222 nm inactivando más del 95% del virus de influenza H1N1 en aerosol. Irradiar UVC lejano a dosis muy bajas en espacios públicos cerrados, podría ser una herramienta prometedora, segura y económica para reducir la propagación de enfermedades infecciosas producidas por estos microorganismos. “David Welch et al. (2018) Far-UVC light: A new tool to control the spread of airborne-mediated microbial diseases, Nature.”

6. SEGURIDAD

Todos los métodos de desinfección requieren de medidas de seguridad en el momento de su fabricación, transporte, almacenamiento, implementación y posterior habilitación de los espacios tratados. La RUV es, en dicha cadena, de los sistemas menos problemáticos. Sólo en el momento de su funcionamiento se deben tener las debidas precauciones, antes y después es totalmente inofensiva.

6.1. SEGURIDAD EN INSTALACIONES

Las instalaciones o equipos que estén dotados de Radiación Ultravioleta C pueden originar daños en la piel y ojos de las personas o animales.

Es importante dotar de sistemas de seguridad a estas instalaciones para evitar su funcionamiento en presencia de seres vivos.

En **GEALED S.L.** hemos tenido muy en cuenta este aspecto en toda la gama **IRIS UV.**

Nuestro sistema consta de varias barreras de seguridad:

- La radiación ultravioleta C no es visible por las personas es por eso que hemos dotado de una cierta cantidad de luz visible a nuestras luminarias para advertir de su funcionamiento. Así mismo, algunos equipos, están dotados de avisadores ópticos y/o acústicos.
- Si por accidente alguna persona entrara en la sala o espacio que está siendo tratado con la UVC la instalación se desconectará automáticamente.
- Los equipos e instalaciones serán accionados a distancia, una vez que la persona encargada de la operación de desinfección lo considere oportuno desconectará, también a distancia, dicha instalación.
- Aviso en todas las puertas de acceso a la estancia en tratamiento del funcionamiento del sistema de UVC.

Después de evaluar todos los posibles escenarios, hemos desarrollado estas medidas y, con el oportuno protocolo, el riesgo de accidente o percance queda reducido a la mínima expresión. En cualquier caso y atendiendo a circunstancias especiales de tipo funcional, arquitectónica o de uso por determinadas personas en las que estas medidas no puedan ser efectivas, póngase en contacto con **GEALED S.L.** para poder implementar otras medidas tales como avisadores acústicos, bloqueadores o desconectores de puerta, etc.

Así mismo, en caso de tener que operar ante la luz en funcionamiento, se debe hacer con los EPIs correspondientes y el personal autorizado disponer de la capacitación y/o formación necesaria.

6.2. SENSIBILIDAD EN PIEL Y OJOS

El eritema, o “quemadura solar”, es un enrojecimiento de la piel que normalmente aparece de cuatro a ocho horas después de la exposición a la RUV y desaparece gradualmente al cabo de unos días. Las quemaduras solares intensas provocan formación de ampollas y desprendimiento de la piel.

La UVB y la UVC son unas 1.000 veces más eficaces que la UVA como agentes causantes de eritema “*John A. Parrish et al. (1982) Erythema and melanogénesis action spectra of normal human skin, , Photochemistry and Photobiology*”, pero el eritema producido por la UVB, de mayor longitud de onda (295 a 315 nm) es más intenso y persiste durante más tiempo (Hausser 1928). Esta mayor intensidad y duración se deben a que la penetración de esta radiación de mayor longitud de onda en la epidermis es más profunda. La piel parece presentar la máxima sensibilidad a 295 nm aproximadamente “*M. Luckiesh, L. L. Holladay, and A. H. Taylor (1930), Reaction of Untanned Human Skin to Ultraviolet Radiation, Journal of the Optical Society of America.*”; “*W. W. Coblenz, R. Stair and J. M. Hogue (1931) The spectral erythemic reaction of the human skin to ultra-violet radiation, National Bureau of Standards, Washington, D. C.*”, siendo esta sensibilidad mucho

menor (aproximadamente 0,07) a longitudes de onda de 315 nm y superiores (*“McKinlay, A.F. and Diffey, B.L. (1987) A Reference Action Spectrum for Ultraviolet Induced Erythema in Human Skin. CIE Journal, 6, 17-22”*).

En el caso de los ojos, la máxima sensibilidad se da a una longitud de onda más cercana a 270 nm, que es precisamente el espectro germicida, dicha longitud es fuertemente absorbida por la córnea y la conjuntiva. La sobreexposición de estos tejidos a la RUV-C provoca queratoconjuntivitis. *“Pitts DG, Tredici TJ (1971), The effects of ultraviolet on the eye. American Industrial Hygiene Association Journal.”*

Desde GEALED recomendamos utilizar la RUV-C con la máxima precaución y dotando las instalaciones de los sistemas de seguridad necesarios para evitar accidentes. Igualmente, una correcta formación del personal que deba trabajar con la instalación evitará posibles percances.



7. OTRAS CUESTIONES

7.1 SOBRE LA INTERACCIÓN DE LA UVC CON LOS MATERIALES

Algunos aspectos a tener en cuenta:

• La radiación no ionizante

La radiación ultravioleta C es una parte del espectro electromagnético como lo es la luz visible. **NO SE CONSIDERA RADIACIÓN IONIZANTE.** Por tanto, una vez cesa su emisión, no es peligrosa, no deja ningún tipo de residuo ni remanente de energía.

• Degradación de materiales

Algunos materiales pueden sufrir un deterioro con la utilización de esta radiación tal como lo podrían tener expuestos a la luz del Sol. En realidad, la penetración de la radiación ultravioleta es del orden de micras (muy pequeña) pero esto podría afectar al color y a la superficie de algunos materiales orgánicos, sobre todo plásticos.

• Generación de ozono

La RUV-C puede generar ozono, pero también lo degrada. Este ciclo generación/degradación se da en longitudes de onda más cortas que las del espectro germicida. Por tanto, no debe ser un motivo de preocupación siempre que operemos con lámparas de garantía que estén emitiendo en el espectro adecuado.

• No traspasa el vidrio

La RUV-C no pasa a través de materiales que sí son transparentes para la luz visible. El metacrilato, el vidrio y el cristal, por ejemplo, son opacos a la luz ultravioleta lejana. Es por eso que en su fabricación utilizamos materiales que permiten su paso, tales como el cristal de cuarzo.

8. CONCLUSIÓN

La tecnología de Radiación Ultravioleta C se postula como uno de los grandes aliados en el control de las enfermedades infecciosas. Como barrera única es capaz de, en breve tiempo, bajar varios logaritmos el nivel de microorganismos presentes en un espacio determinado con garantías. En sinergia con otro tipo de métodos de desinfección ofrece la máxima seguridad para los entornos sanitarios más susceptibles de propagación de enfermedades infecciosas, pudiendo desarrollarse sistemas multibarrera para el control sanitario más exigente.

Dentro de nuestro **catálogo IRIS UV**, nuestros productos han sido pensados para el máximo aprovechamiento de la tecnología ultravioleta como desinfección de espacios y objetos siempre teniendo en cuenta la información referida en el presente documento y teniendo como fuente los estudios publicados en revistas y portales científicos de todo el mundo.



ADVERTENCIA

La International Ultraviolet Association advierte que los dispositivos vendidos en algunos sitios "online" como Amazon y Alibaba no están regulados para su salida UV, y no se puede garantizar que estos dispositivos vendidos como emisores UV-C funcionen como se está publicitando. Las fuentes y dispositivos de UV-C deben comprarse a proveedores fiables y de buena reputación exigiendo cuando sea necesario los documentos correspondientes que acrediten que efectivamente son fuentes de RUV C. Consulte con un distribuidor o fabricante de confianza.



ANEXO 1

En el presente anexo se han recogido una parte de los numerosos estudios sobre inactivación de microorganismo con RUV C. Gran parte de estos estudios se realizaron en agua, el agua absorbe la RUV C necesitándose una dosis más alta para inactivar que si fuera sobre una superficie sólida o en el aire. Hemos intentado referenciar todas las dosis para que nuestros clientes puedan acceder al origen de los datos que hemos transcrito y de esta manera acceder a la fuente original de los datos.

A pesar de nuestro esfuerzo por evitarlo es posible que exista algún error, si es así y lo detecta por favor comuníquenoslo y lo subsanaremos lo antes posible.

9. ADDENDUM

COVID -19

La actual pandemia mundial de coronavirus preocupa enormemente por su alta velocidad de transmisión y su rápida extensión por todo el mundo. La tasa de mortalidad está situada entre el 2% y 4% sin que haya medicamentos antirretrovirales o vacunas, por el momento, a disposición de los servicios de atención médica. Estructuralmente, este virus no es único y es similar a otros coronavirus tales como el del Síndrome Respiratorio Agudo (SARS) y Síndrome Respiratorio de Medio Oriente (MERS), y puede abordarse con los métodos desinfectantes químicos que existen y con nuevas tecnologías como la RUV-C.

Microbe	D ₉₀ Dose J/m ²	UV k m ² /J	Base Pairs kb	Source
Coronavirus	7	0.35120	30741	Walker 2007 ^a
Berne virus (Coronaviridae)	7	0.32100	28480	Weiss 1986
Murine Coronavirus (MHV)	15	0.15351	31335	Hirano 1978
Canine Coronavirus (CCV)	29	0.08079	29278	Saknimit 1988 ^b
Murine Coronavirus (MHV)	29	0.08079	31335	Saknimit 1988 ^b
SARS Coronavirus CoV-P9	40	0.05750	29829	Duan 2003 ^c
Murine Coronavirus (MHV)	103	0.02240	31335	Liu 2003
SARS Coronavirus (Hanoi)	134	0.01720	29751	Kariwa 2004 ^d
SARS Coronavirus (Urbani)	241	0.00955	29751	Darnell 2004
Average	67	0.03433		

^a (Jingwen 2020) ^b (estimated) ^c (mean estimate) ^d (at 3 logs)

La COVID-19 es la enfermedad respiratoria causada por el Virus SARS-CoV-2 que ha causado la actual pandemia mundial. El SARS-CoV-2 es una nueva variante en la familia del betacoronavirus. Se transmite por contacto directo o contacto con fómites (por ejemplo, gotas de saliva) quedando suspendidos en el aire, al igual que los conocidos betacoronavirus SARS, MERS y otros coronavirus que afectan a humanos: OC43, 229E, NL63 y HKU1. La mayoría de las transmisiones de la infección se cree que son principalmente por el contacto directo con las secreciones respiratorias de un animal o persona infectada, en especial a través de gotículas respiratorias de menos de 5 micras emitidas con la tos o los estornudos, o por las mucosas de otra persona infectada (nariz, boca u ojos); parece poco probable la transmisión por el aire a distancias mayores de 1-2 metros.

Los coronavirus son miembros de la familia Coronaviridae. Por tanto, se trata de un virus cuyo genoma está formado por una única cadena de ARN con polaridad positiva. (Ryan 1994).

Actualmente se han publicado, aproximadamente, 100 secuencias del genoma del SARS-CoV-2 y estas sugieren que hay dos tipos, Tipo I y Tipo II, este último proviene del mercado de Huanan en China, mientras que la cepa Tipo I viene de una ubicación desconocida (Zhang 2020). El genoma consiste en 29,751 pares de bases (NC_045512.2, NCBI Reference Sequence) y es, aproximadamente, un 80% igual al del virus del SARS "Dale Fisher and David Heymann (2020), Q&A: The novel coronavirus outbreak causing COVID-19, BMC Medicine". Estas características, tan similares a otros coronavirus, sugieren que su inactivación por RUV-C será con dosis muy similares a los de su familia taxonómica. Muy probablemente, estas dosis, serán relativamente bajas, del orden de 6mJ/cm² a 24mJ/cm².

La RUV-C puede ser una medida efectiva para desinfectar el aire y las superficies que pueden estar contaminadas por el virus SARS-CoV-2 induciendo, tal como hemos explicado en este documento, fotodímeros en el ARN de su genoma. La luz ultravioleta ha demostrado ser capaz de destruir virus, bacterias y hongos en cientos de estudios de laboratorio "Kowalsky W. (2009), Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook". Aunque el virus SARS-CoV-2 aún no ha sido probado, específicamente, que sea susceptible a la inactivación con RUV-C, sí que existen muchos otros estudios en coronavirus, incluyendo el coronavirus SARS-CoV-1 que así lo atestiguan.

Desde **GEALED SL** esperamos presentar, en breve, un estudio más de la eficacia de la RUV-C como instrumento de inactivación de los microorganismos, causantes de la mayoría de las enfermedades infecciosas de nuestra sociedad, en este estudio, por supuesto, incluiremos el SARS-CoV-2.



www.solidpowerled.com

Calle Senda de les Animes 205 Catarroja (Valencia)

info@solidpowerled.com

+34 961 260 007

Los datos técnicos y características de los productos pueden estar sujetos a modificaciones o contener algún error tipográfico por lo que no tienen carácter contractual con la empresa.
Así mismo, Gealed, S.L. no se hace responsable de posibles datos erróneos debido a la constante evolución del campo de la investigación biológica.