

# Radiación Ultravioleta Aplicada a la Sanitización de Espacios

Mtro. Ernesto Enciso Contreras<sup>1</sup>, Ing. Armando Solís Velázquez<sup>1</sup>,  
Dra. Griselda Cortés Barrera<sup>2</sup>



## Acerca de los autores...

<sup>1</sup>Académico de la División de Ingeniería Mecánica Mecatrónica e Industrial del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec.

<sup>2</sup>Académico de la División de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec.

## Resumen

El presente trabajo muestra la aplicación de la luz ultravioleta utilizada para la desinfección o sanitización de espacios; se describe la clasificación de la radiación ultravioleta en el espectro electromagnético de acuerdo con su longitud de onda y su eficiencia al ser usada como agente germicida. Las tecnologías actuales muestran una gran variedad de diseños e implementaciones de dispositivos disponibles que cuentan con fuentes de emisión de luz ultravioleta para aplicaciones específicas. El Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec a través de sus divisiones de Ingeniería Mecatrónica y de Sistemas Computacionales, desarrolló un prototipo de robot autónomo, que utiliza luz ultravioleta para la sanitización de espacios en lugares como hospitales, centros educativos, hoteles, etcétera.

**Palabras Clave:** Radiación ultravioleta, desinfección, robot móvil, Covid-19.

## Abstract

*This work shows the application of ultraviolet light used for the disinfection or sanitation of spaces; the classification of ultraviolet radiation in the electromagnetic spectrum according to its wavelength and its efficiency when used as a germicidal agent is described. Today's technologies show a wide variety of available device designs and implementations that feature ultraviolet light emission sources for specific applications. The Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, through its Mechatronic Engineering and Computer Systems divisions, developed a prototype of an autonomous robot that uses ultraviolet light to sanitize spaces in places such as hospitals, educational centers, hotels, etcetera.*

**Keywords:** Ultraviolet radiation, disinfection, mobile robot, Covid-19.

## Introducción

Existe una gran variedad de métodos desarrollados alrededor del mundo para la eliminación o inactivación de microorganismos, como las bacterias, virus, protozoos, hongos y esporas, causantes de distintos padecimientos en la salud del ser humano, plantas y animales que pueden ser transmitidos de distintas maneras. Muchos de estos microorganismos, especialmente las bacterias y virus, son los responsables de muchas pandemias que se han generado a lo largo de la historia de la humanidad, causando secuelas permanentes a miles o millones de personas y en el peor de los casos, la muerte.

Actualmente, debido a la epidemia de Covid-19, enfermedad causada por el virus SARS-CoV-2, se han elaborado estudios acerca de su modo de transmisión, su expansión a lo largo del mundo y del tratamiento adecuado para las personas que lo contraen. Hasta el momento, no existe un medicamento antiviral o vacuna disponible que cure los efectos de este nuevo virus. Por esta razón, la única manera de enfrentar esta pandemia, es la aplicación de medidas preventivas en la población, como el permanecer en sus hogares la mayor parte del tiempo posible, el uso de accesorios protectores (cubrebocas, mascarillas, etcétera) y la sanitización de objetos personales y espacios públicos.

El uso de dispositivos germicidas que emiten radiación ultravioleta (UV) han estado en constante desarrollo en los últimos años para distintos propósitos, como la purificación de agua, esterilización de instrumentos quirúrgicos y la sanitización de pequeños y grandes espacios. Investigaciones recientes han mostrado que la radiación UV puede ser utilizada como tratamiento auxiliar de infecciones pulmonares severas, asociadas con el síndrome agudo respiratorio severo (SARS), esta opción es considerada para los

pacientes que requieren ser intubados o que sufren infecciones traqueo-bronquiales (Stawicki, 2020).

El desarrollo de robots que emiten radiación UV para desinfectar espacios, se ha disparado debido a la actual pandemia y a la forma de transmisión del virus; por lo tanto, el uso de lámparas de luz UV y su configuración, son factores importantes que permitirán determinar la eficiencia con que son eliminados o neutralizados los microorganismos.

### Uso de radiación ultravioleta para aplicaciones germicidas

La luz ultravioleta está compuesta por radiación electromagnética localizada en la porción más corta del espectro electromagnético, en el rango entre los 100 y los 400nm (nanómetros). La radiación UV está dividida en cuatro categorías: UVA, entre la longitud de onda de 400nm a 315nm; UVB, en el rango de 315nm a 280nm; UVC, entre los 280nm y los 200nm, y la radiación UV de vacío, que comprende las longitudes de onda entre 200nm y 100nm (IESNA, 2000).

Entre los tipos de radiación UV anteriormente descritos, el uso de la radiación ultravioleta tipo C contiene el rango de longitudes de onda en los cuáles se tiene la máxima efectividad en la eliminación e inactivación de microorganismos. La Figura 1 muestra una gráfica donde la curva representa la efectividad germicida en función de la longitud de onda. Como puede observarse, el pico de la curva donde se tiene la máxima efectividad, se ubica alrededor de los 265nm (Kowalski, 2009).

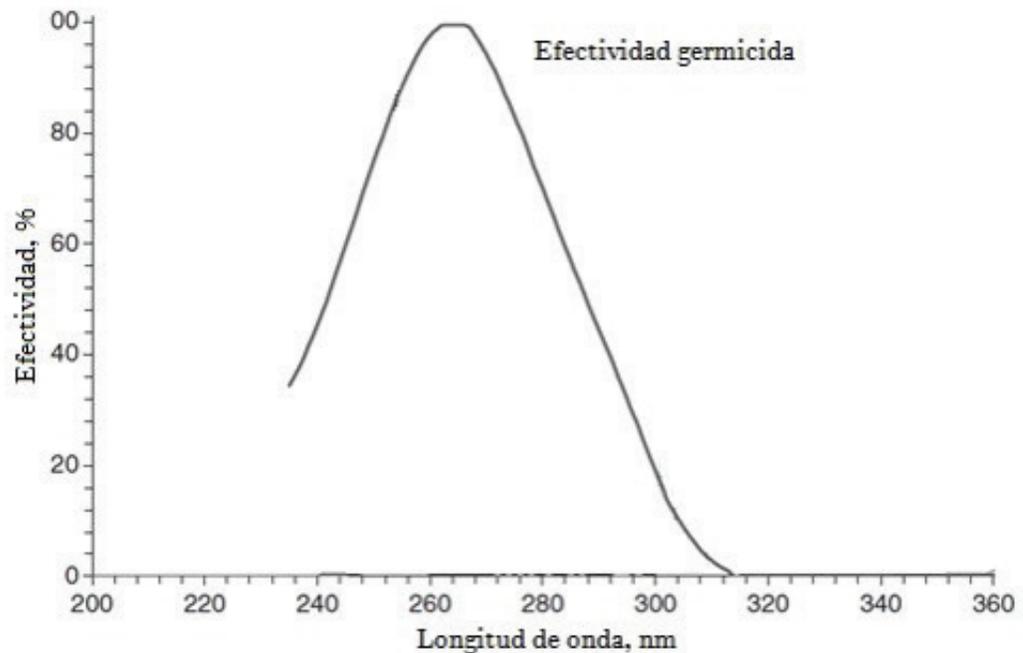


Figura 1

Efectividad de la radiación UVC para aplicaciones germicidas, en función de la longitud de onda (Kowalski, 2009).

La radiación UVC provoca daño en los ácidos nucleicos y proteínas a nivel molecular de los microorganismos, el daño más importante sucede en su ADN (Ácido Desoxirribonucleico) el cuál se relaciona con la reproducción celular, las bases

nucleótidas absorben la mayoría de la radiación UVC, lo que provoca la inactivación y/o la inhabilitación del microorganismo (Kowalski, 2009).

La efectividad con la que se realiza la sanitización al utilizar radiación UVC, depende de varios factores, primeramente, la dosis UVC ( $D_{UV}$ ), esto representa la cantidad de energía emitida por la fuente de radiación por unidad de área; las unidades más comunes para representar este factor son  $\mu J/cm^2$  (microJoules por centímetro cuadrado). Regularmente, los fabricantes de las lámparas comerciales que emiten luz UVC proporcionan la irradiancia promedio en  $\mu W/cm^2$  (microWatts por centímetro cuadrado), debido a esto, otro factor importante que debe tomarse en cuenta, es el tiempo de exposición en segundos, necesario para determinar la energía total que la fuente emite.

Los microorganismos poseen una resistencia natural a la exposición de la radiación UV, dependiendo de su especie, conocido como factor dependiente de la especie (species dependent factor) denominado con la letra  $k$  y está dada en  $cm^2/\mu J$ . Varias especies de bacterias, hongos y virus han sido objeto de estudios para determinar la fracción de supervivencia microbial cuando se exponen a la radiación UV, la fracción de supervivencia ( $S$ ) es una función exponencial que relaciona la dosis y el factor  $k$ . Analizando esta variable, es posible medir la efectividad total, lo que representa el porcentaje en la población de microorganismos inactivada después de recibir una dosis de radiación; la fracción de supervivencia de microorganismos y la tasa de inactivación, puede ser determinada utilizando las ecuaciones 1 y 2.

$$S = e^{-kD_{UV}} \quad (1)$$

$$\eta = 1 - S \quad (2)$$

Para los distintos tipos de microorganismos, existen diferentes dosis de radiación UV necesaria para lograr su eliminación o inactivación al 90%. La Tabla 1 contiene rangos de energía para distintos tipos de microorganismos, mientras que la Tabla 2 muestra la energía necesaria para inactivar distintos tipos de coronavirus.

**TABLA 1**  
**FACTOR DE DEPENDENCIA DE LA ESPECIAL PARA DISTINTOS TIPOS DE MICROORGANISMOS**  
**(MONOGRAFÍAS, 2020).**

Tipo de microorganismo	Dosis para inactivar el 90% ( $\mu J/cm^2$ )
<b>Bacterias</b>	4100 - 26400
<b>Hongos y Esporas</b>	9900 - 35200
<b>Protozoos</b>	9200 - 22000
<b>Virus</b>	700 - 24100
<b>Levaduras</b>	6600 - 13200

**TABLA 2**  
**RESUMEN DE DOSIS DE RADIACIÓN UV PARA DISTINTOS TIPOS DE CORONAVIRUS**  
**(KOWALSKI, 2020).**

BACTERIA	Dose ( $\mu\text{J}/\text{cm}^2$ )	k factor
Coronavirus	700	0.003512
Berne virus (Coronaviridae)	700	0.003210
Murine Coronavirus (MHV)	1500	0.001535
Canine Coronavirus (CCV)	2900	0.000808
Murine Coronavirus (MHV)	2900	0.000808
SARS Coronavirus CoV-P9	4000	0.005750
Murine Coronavirus (MHV)	10300	0.000224
SARS Coronavirus (Hanoi)	13400	0.000172
SARS Coronavirus (Urbani)	24100	0.000095

Para el virus SARS-CoV-2 causante de la pandemia actual, no hay un estudio preciso que determine la cantidad de energía específica para ser inactivado; sin embargo, hay estudios cuyos resultados sugieren que se logró la inactivación del virus en diferentes condiciones aplicándole  $5000 \mu\text{J}/\text{cm}^2$ , logrando la eliminación del 99% del virus en 6 segundos de exposición. El valor anterior se encuentra dentro del rango mostrado en la Tabla 2, cuyo promedio es de  $6700 \mu\text{J}/\text{cm}^2$  (Energía hoy, 2020).

### Fuentes de radiación UVC

Existen distintas fuentes que emiten radiación ultravioleta, no obstante, la fuente UVC más eficiente son las lámparas de baja presión de mercurio. La excitación de los átomos de mercurio provoca que la lámpara emita alrededor del 85% de su energía en una longitud de onda de 253.7nm; otra pequeña parte se emite en el espectro de luz visible y la energía sobrante se emite en distintas longitudes de onda en la región UV (la mayoría alrededor de los 185nm). La Figura 2 muestra la configuración principal de este tipo de lámparas (ASHRAE, 2016).

En los dispositivos diseñados alrededor del mundo para cumplir con la sanitización de espacios, la mayoría utilizan lámparas de baja presión de mercurio para realizar la labor de desinfección; se implementan lámparas de tubo, biaxiales y de tubo en forma de U, de distintos tamaños y potencias, de acuerdo con la aplicación donde se pretende utilizar. Hay dispositivos fijos, para colocarlos dentro del espacio a sanitizar, con temporizadores que permiten programar el tiempo necesario para realizar la desinfección; de igual manera, se tienen robots móviles y autónomos, que son teledirigidos a través de aplicaciones Web o control remoto.

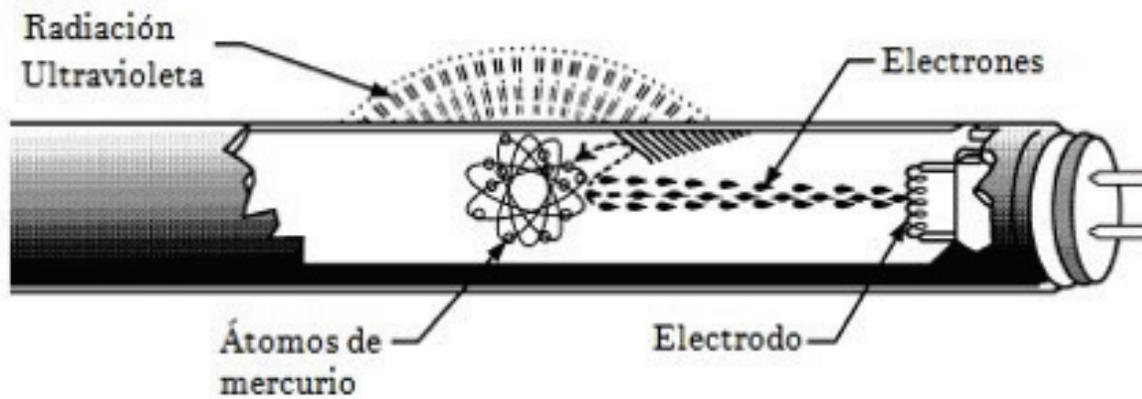


Figura 2

Funcionamiento de una lámpara de emisión de radiación UVC (ASHRAE, 2016).

## Robot teledirigido y autónomo para sanitizar espacios, desarrollado en el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec

El Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, a través de las divisiones de Ingeniería Mecatrónica y de Sistemas Computacionales, está llevando a cabo el desarrollo de un prototipo de robot autónomo y teledirigido, para utilizarlo en la eliminación e inactivación de microorganismos en espacios públicos y privados, mediante el uso de lámparas UVC para realizar la sanitización del lugar.

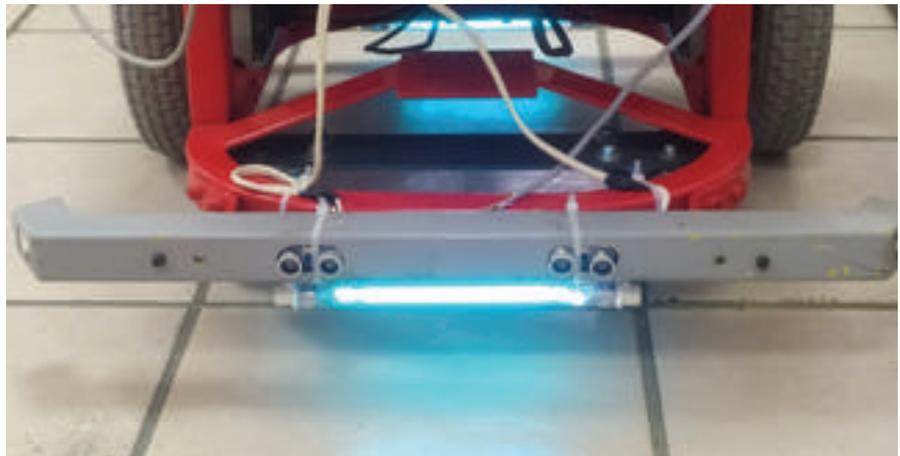
Para ello, se implementó una torre de lámparas en la parte superior de la estructura principal y motriz del robot. Contiene seis lámparas de tubo verticales, de mercurio de baja presión, colocadas en forma radial, y que emiten radiación UVC con una longitud de onda específica de 253.7nm en todas direcciones alrededor del robot; de igual manera, se colocaron dos lámparas en la parte inferior del robot para sanitizar la parte baja de los muebles y objetos que se encuentren en la habitación, donde la radiación de las lámparas superiores no pueda incidir debido a la sombra provocada por la propia estructura del robot; también tiene una lámpara en forma de bombilla en la parte superior, de tal manera que la radiación UVC pueda llegar a la parte alta de la habitación. Con la configuración y disposición del arreglo de lámparas que tiene el robot, se garantiza que la radiación UVC incide en todas las direcciones alrededor del robot. Las figuras 3a y 3b muestran la disposición de las lámparas acopladas al robot autónomo.





*Figura 3a*

Torre de lámparas superiores implementadas en el robot.



*Figura 3b*

Lámparas inferiores implementadas en el robot.

El robot puede ser manipulado a través de una aplicación Web y no necesita la interacción directa de un operador, ya que se puede comandar a distancia; su sistema motriz le permite desplazarse por superficies horizontales y las lámparas se accionan desde la aplicación.

El tiempo de exposición es un factor muy importante durante la actividad de sanitización, ya que cada microorganismo tiene diferente resistencia a la radiación UVC, por lo tanto, el robot debe contar con la suficiente autonomía de operación de las lámparas para garantizar que todo el lugar donde se encuentre, sea desinfectado satisfactoriamente. Por tal motivo, el robot cuenta con un sistema independiente de

alimentación de energía para las lámparas, que consta de una batería de iones de litio y un inversor con la potencia suficiente para darle autonomía de funcionamiento continuo durante alrededor de siete horas.

## Conclusión

El uso de la radiación ultravioleta tipo C, ha dado buenos resultados cuando se utiliza como agente germicida para eliminar o inactivar microorganismos, como virus, bacterias, hongos, esporas, etcétera. La longitud de onda determina la efectividad de sanitización, teniendo la máxima eficiencia en el rango de los 265nm. Por tal motivo, las lámparas utilizadas para desinfectar lugares a través de radiación UVC tienen alrededor de un 85% de emisión en la longitud de onda de 253.7nm, siendo más eficientes las lámparas de mercurio de baja presión.

Con esta tecnología, se han desarrollado dispositivos fijos y móviles cuyo objetivo es la sanitización de espacios públicos y privados, como es el caso del prototipo desarrollado por profesores e investigadores del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, quienes diseñaron e implementaron un robot sanitizador teledirigido y autónomo, para desinfectar espacios en hospitales, centros educativos, hoteles, etcétera. a través de un conjunto de lámparas que emiten radiación UVC, cuya disposición permite que la radiación se emita en todas direcciones alrededor del robot.

## Referencias

- Energía hoy.* (2020). Iluminación UV-C efectiva en la inactivación del virus que causa COVID-19: Universidad de Boston. <https://energiahoy.com/2020/06/17/iluminacion-uv-c-efectiva-en-la-inactivacion-del-virus-que-cause-covid-19-universidad-de-boston/>
- Kowalski, W. (2009). *Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook*. Springer-Verlag.
- Kowalski, W.J., Petraltis V., Walsh, T.J. (2020). COVID-19 Coronavirus Ultraviolet Susceptibility. *Technical Report*, 1-4.
- Monografías. (2020). *Tratamiento de aguas residuales*. <https://www.monografias.com/trabajos99/tratamiento-aguas-residuales/tratamiento-aguas-residuales.shtml>
- Stawicki, S.P. (2020). Could trachea-bronchial ultraviolet C irradiation be a valuable adjunct to the management of severe COVID-19 pulmonary infections? *International Journal of Academic Medicine*, 6 (2), 156-158.
- The IESNA lighting handbook.* (2000). New York. Illuminating Engineering Society of North America.
- Ultraviolet Lamp Systems – Chapter 17.* (2016). ASHRAE. 3-10.