



**Recibido:** 2026-03-22

**Aceptado:** 2026-04-22

**Publicado:** 2026-05-22

## **Diseño, Simulación e Implementación de un Sistema de Desinfección para Quirófano con Luz Ultravioleta Uv-C**

### **Design, Simulation and Implementation of a Disinfection System for the Operating Room with Ultraviolet UV-C Light**

#### **Autores**

**Ember Geovanny Zumba Novay<sup>1</sup>**

[ezumba@epoch.edu.ec](mailto:ezumba@epoch.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-2121-8418>

**Escuela Superior Politécnica de  
Chimborazo**

Riobamba - Ecuador

**Diana Cristina Aguilar Jumbo<sup>2</sup>**

[dvalentinalunabeth@gmail.com](mailto:dvalentinalunabeth@gmail.com)

<https://orcid.org/0009-0008-5272-3469>

**Unidad Educativa Fiscomisional  
"Sagrado Corazón De Jesús"**

Ecuador

**Fernando Xavier Zumba Novay<sup>3</sup>**

[ferchoo777@hotmail.com](mailto:ferchoo777@hotmail.com)

<https://orcid.org/0000-0001-7916-5171>

**Hospital General Latacunga**

Latacunga - Ecuador

**Peña Robles Carmen Jhuliana<sup>4</sup>**

[carmen.penar@educacion.gob.ec](mailto:carmen.penar@educacion.gob.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-0045-9933>

**Unidad Educativa Ambroso Noriega**

Ecuador

## Resumen

Esta investigación evaluó la eficacia de la radiación ultravioleta tipo C (UV-C, 254 nm) en la desinfección de quirófanos, conforme a la norma ISO 14644-1:2015, con el objetivo de reducir la carga microbiana y viral en superficies críticas como paredes, pisos y equipos médicos. Se implementó una metodología experimental-simulada orientada al diseño, modelado y optimización de un sistema de desinfección mediante lámparas germicidas UV-C, considerando parámetros físicos, microbiológicos y de eficiencia energética. Para ello, se emplearon software especializados, incluyendo ANSYS 2023 R1 Workbench, Fluent y DIALux Evo, para generar modelos tridimensionales del quirófano y simular la distribución espacial de la irradiancia.

Los resultados demostraron que la irradiación UV-C alcanzó dosis superiores a los umbrales germicidas requeridos para inactivar patógenos comunes y resistentes, como *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli* y *Clostridium difficile*, mediante daño a su material genético. La simulación identificó zonas de baja irradiancia, lo que permitió optimizar la ubicación de seis lámparas de 40 W a 1,50 m de altura en las paredes laterales, garantizando cobertura homogénea y evitando puntos ciegos. Se determinó que un tiempo de exposición de 10 minutos es suficiente para lograr el efecto germicida en las superficies más alejadas de las fuentes de radiación.

Este estudio proporciona una base sólida para la implementación de sistemas UV-C en quirófanos, fortaleciendo los protocolos de desinfección hospitalaria y validando la viabilidad de esta tecnología en entornos clínicos reales, como el quirófano del Hospital Básico de Shushufindi, Ecuador, mejorando la bioseguridad y reduciendo el riesgo de infecciones nosocomiales.

**Palabras clave:** UV-C, desinfección, simulación, quirófano, eficiencia.

## Abstract

This study evaluated the efficacy of ultraviolet-C (UV-C, 254 nm) radiation for the disinfection of operating rooms in accordance with ISO 14644-1:2015, aiming to reduce microbial and viral loads on critical surfaces such as walls, floors, and medical equipment. An experimental-simulated methodology was employed for the design, modeling, and optimization of a UV-C germicidal system, considering physical, microbiological, and energy efficiency parameters. Specialized software, including ANSYS 2023 R1 Workbench, Fluent, and DIALux Evo, was used to generate three-dimensional models of the operating room and simulate the spatial distribution of irradiance.

Results demonstrated that UV-C irradiation achieved doses exceeding germicidal thresholds necessary to inactivate common and resistant pathogens, including *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, and *Clostridium difficile*, through genetic material disruption. The simulation identified areas of low irradiance, allowing optimization of six 40 W lamps positioned at 1.50 m on the side walls, ensuring homogeneous coverage and eliminating shadowed zones. An exposure time of 10 minutes was determined sufficient to achieve the germicidal effect on surfaces most distant from the radiation sources.

This study provides a solid technical basis for the implementation of UV-C systems in operating rooms, enhancing hospital disinfection protocols and validating the practical feasibility of this technology in real clinical environments, such as the operating room at Shushufindi Basic Hospital, Ecuador, thereby improving biosafety and reducing the risk of healthcare-associated infections.

**Keywords:** UV-C, disinfection, simulation, operating room, efficiency.

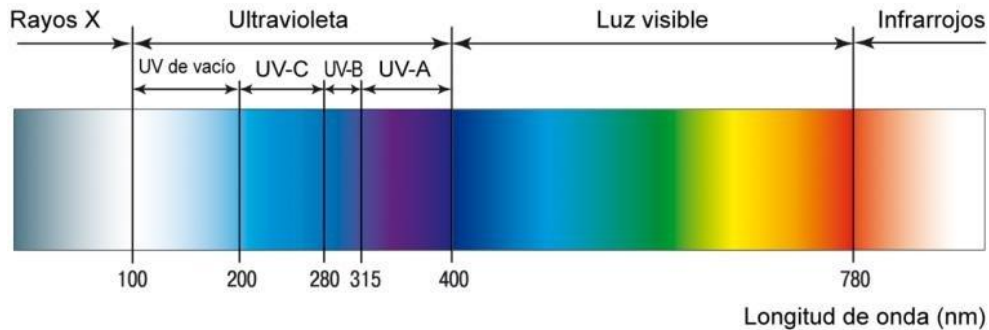
## Introducción

La adecuada desinfección de quirófanos es un aspecto crucial para garantizar la seguridad del paciente y la eficacia de los procedimientos médicos, siendo una prioridad de salud pública evidenciada en los centros de atención de la ciudad de Riobamba (Franco, 2017). Estos espacios, fundamentales en cualquier sistema de salud, están continuamente expuestos a agentes patógenos, lo que hace indispensable aplicar métodos especializados de limpieza y esterilización para minimizar los riesgos de infecciones nosocomiales (Freire et al., 2024). El aumento nacional de la resistencia de los microorganismos a los desinfectantes tradicionales subraya la necesidad de implementar soluciones más eficaces y sostenibles, un desafío compartido por naciones como Ecuador y sus instituciones locales de salud. La tecnología de radiación ultravioleta (UV-C) se presenta como una alternativa prometedora para complementar las estrategias convencionales de higiene hospitalaria, ofreciendo un enfoque innovador y eficiente para el control microbiológico tanto a nivel local como en contextos nacionales (Acero Gualpa, 2024). En el panorama internacional es incluso más relevante el uso de tecnología poco invasiva que garantice protocolos de saneamiento que cumplan con un alto factor germicida.

La radiación UV-C, que opera en el rango de 200 a 280 nanómetros, ha demostrado ser especialmente eficaz para inactivar bacterias, virus y hongos, siendo reconocida por organismos internacionales como la Organización mundial de la Salud (Erasmus et al., 2024). Su mecanismo de acción consiste en dañar el ADN-ARN de los microorganismos, impidiendo su replicación, un proceso conocido como Irradiación Germicida Ultravioleta (UVGI). Una de las grandes ventajas de esta tecnología es su capacidad para reducir la carga microbiana en entornos cerrados, como los quirófanos. De modo que no puedan generar residuos o requerir contacto directo con las superficies, minimizando el riesgo de contaminación adicional. La efectividad de esta tecnología está estrechamente relacionada con factores como la intensidad lumínica, la distancia a los objetos y el tiempo de exposición. (Acero Gualpa, 2024).

**Figura 1.**

*Espectro de radiación Ultravioleta y UVC de 200 a 280nm.*



**Fuente:** Eduardo Manzano (2023)

**Fundamentos Teóricos de la Radiación Ultravioleta Germicida (UVGI)**

La desinfección mediante radiación ultravioleta germicida (UVGI) se ha consolidado como una tecnología eficaz y complementaria en la lucha contra los microorganismos como *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli* y *Clostridium difficile* (Ploydaeng et al., 2021) especialmente en entornos críticos como los quirófanos. Su efectividad radica en principios físicos y biológicos específicos, que se explorarán en detalle a continuación para comprender el fundamento detrás de su aplicación (Beilenhoff et al., 2018).

**Figura 2.**

*Capacidad germicida de la luz UV-C.*



**Fuente:** Germiled (2022)

Énfasis en la región germicida (200-280 nm) y el pico de 254 nm; Dentro de la banda UV-C, la región comprendida entre 200 y 280 nm es conocida como la "región germicida" debido a su capacidad para inactivar microorganismos. La máxima eficacia germicida se alcanza a una longitud de onda específica, alrededor de los 254 nm (Beilenhoff et al., 2018). Esta longitud de onda corresponde al pico de absorción del ADN y ARN de los microorganismos. Las lámparas germicidas más comunes, como las de mercurio de baja presión, están diseñadas para emitir luz monocromática precisamente en esta longitud de onda, maximizando así su potencial desinfectante (Ploydaeng et al., 2021).

Mecanismo de acción de la UV-C a nivel molecular (daño al ADN/ARN, formación de dímeros de pirimidina). \_ El poder germicida de la radiación UV-C se debe a su capacidad para dañar directamente el material genético de los microorganismos: el ácido desoxirribonucleico (ADN) y el ácido ribonucleico (ARN). Cuando los fotones UV-C son absorbidos por el ADN o ARN, especialmente por las bases nitrogenadas pirimidinas (citosina, timina y uracilo), ocurre una reacción fotoquímica (Ploydaeng et al., 2021). Esta reacción induce la formación de enlaces covalentes anómalos entre bases pirimidínicas adyacentes en la misma hebra de ADN o ARN, creando estructuras conocidas como dímeros de pirimidina (principalmente dímeros de timina). (McGinn et al., 2021)

La formación de estos dímeros distorsiona la estructura de la doble hélice del ADN o la cadena del ARN, interfiriendo críticamente con los procesos celulares esenciales. Que son los siguientes:

- a) Replicación. \_ Los dímeros actúan como "bloqueos" que impiden que las enzimas replicativas (ADN polimerasas) puedan leer y copiar correctamente el material genético. Esto detiene la división celular.
- b) Transcripción. \_ De manera similar, la ARN polimerasa no puede transcribir el ADN afectado en ARN mensajero funcional, impidiendo la síntesis de proteínas.
- c) Reparación. \_ Aunque los microorganismos poseen mecanismos de reparación del ADN, la UV-C, especialmente a dosis elevadas, puede sobrecargar o dañar estos sistemas de reparación, haciendo que el daño sea irreversible. (Cordero et al., 2016)

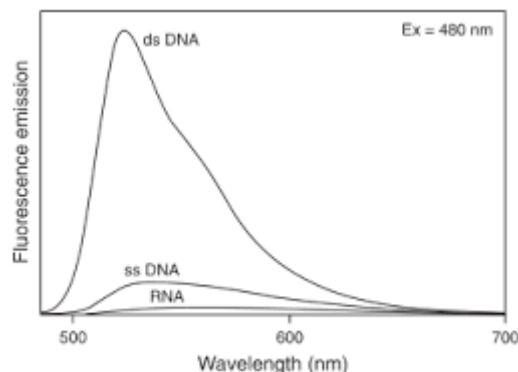
Como resultado, el microorganismo pierde su capacidad de reproducirse y de llevar a cabo sus funciones vitales, quedando inactivado y, por lo tanto, incapaz de causar enfermedades.

Este proceso de inactivación ocurre sin que el microorganismo sea físicamente destruido, sino que se vuelve inviable.(McGinn et al., 2021)

Curvas de absorción del ADN y la curva de acción germicida.\_ La efectividad de la UV-C está directamente relacionada con la absorción por parte del material genético(Diab-El Schahawi et al., 2021). Se ha establecido una clara correlación entre la curva de absorción del ADN (que muestra la cantidad de luz absorbida por el ADN en función de la longitud de onda) y la curva de acción germicida (que indica la eficacia relativa de las diferentes longitudes de onda para inactivar microorganismos). Ambas curvas muestran un pico pronunciado alrededor de los 254-265 nm, lo que justifica la elección de las lámparas de 254 nm para la desinfección. (McGinn et al., 2021).

### Figura 3.

*Curvas de Absorción del ADN y la Curva de Acción Germicida.*



**Fuente:** Pestwest (2023)

### Parámetros clave de la irradiación UV-C

La efectividad de un sistema de desinfección UV-C no solo depende de la longitud de onda emitida, sino también de la interacción de varios parámetros físicos que determinan la cantidad de energía ultravioleta que un microorganismo recibe(Penno et al., 2017). Comprender estos parámetros es fundamental para el diseño y la optimización de sistemas UVGI en quirófanos.

La irradiancia es un factor crítico, ya que una mayor intensidad de UV-C significa que más fotones están incidiendo en una superficie, aumentando la probabilidad de dañar el material

genético microbiano(de Alba et al., 2021). La irradiancia en un punto dado del quirófano está influenciada por varios factores:

- a) **Potencia de la lámpara UV-C.** \_ Lámparas con mayor salida de UV-C emitirán una mayor irradiancia(Sampathkumar et al., 2019).
- b) **Distancia a la fuente de UV-C.** \_ La irradiancia disminuye con el cuadrado de la distancia desde la fuente puntual (ley del inverso del cuadrado), lo que significa que los objetos más alejados de las lámparas recibirán menos energía UV(de Alba et al., 2021).
- c) **Reflectividad de las superficies.** \_ Las superficies dentro del quirófano (paredes, techo, piso, equipos) que reflejan la luz UV-C pueden aumentar la irradiancia en áreas que de otro modo estarían en sombra o recibirían menos radiación directa. Materiales como el acero inoxidable o pinturas especiales con alta reflectividad UV pueden ser beneficiosos(de Alba et al., 2021).
- d) **Absorción por el medio.** \_ La presencia de partículas en el aire (polvo, aerosoles) o humedad puede absorber parte de la radiación UV-C, reduciendo la irradiancia efectiva(de Alba et al., 2021).

La medición de la irradiancia se realiza con radiómetros UV especializados, equipados con sensores calibrados para la longitud de onda germicida (254 nm), permitiendo cuantificar la intensidad de la radiación en diferentes puntos del espacio(Sholtes & Linden, 2019).

### **Diseño y Modelado del Qirófano para Simulación**

El proceso de simulación de la radiación UV-C requiere un modelo virtual preciso del entorno a desinfectar. En este estudio, el quirófano del Hospital Básico de Shushufindi en Sucumbíos, Ecuador, fue el objeto de modelado. Un diseño y modelado tridimensional riguroso son fundamentales para garantizar que los resultados de la simulación reflejen con precisión la distribución de la irradiancia y la dosis en un escenario real, permitiendo la identificación de zonas críticas y la optimización del sistema antes de su implementación física. (Nerandzic et al., 2015)

### **Dimensiones y geometría del quirófano**

El modelado del quirófano se basó en las dimensiones estándar y la configuración típica de estas salas en instalaciones hospitalarias, ajustadas a las características específicas del

quirófano de estudio. Para este análisis, se consideró un espacio con dimensiones de 4 metros de largo por 4 metros de ancho y 3 metros de alto (4x4x3 metros). Estas dimensiones son representativas de un quirófano de tamaño mediano a grande, diseñado para acomodar una mesa de operaciones, equipos médicos esenciales, personal quirúrgico y tener suficiente espacio para la circulación y el manejo de instrumentos. (Organización Mundial de la Salud, 2017).

La geometría interna del quirófano fue replicada fielmente para incluir elementos cruciales que pueden influir en la distribución de la radiación UV-C (Sydnor & Perl, 2011). Esto abarcó la mesa de operaciones central, las lámparas quirúrgicas de techo (consideradas como obstáculos), gabinetes fijos, e incluso, en un nivel de detalle más avanzado, la presencia de otros equipos médicos voluminosos que podrían generar sombras significativas. La precisión en la replicación de estos elementos es vital, ya que cualquier obstáculo, por pequeño que sea, puede crear una zona de sombra donde la irradiancia UV-C se vea comprometida. (Organización Mundial de la Salud, 2020)

La justificación de estas dimensiones se basa en la necesidad de simular un entorno realista y representativo de un quirófano clínico (Surgical care systems strengthening, 2024). El diseño del espacio y la disposición del mobiliario influyen directamente en la trayectoria de la luz UV-C y, por ende, en la efectividad de la desinfección. Un quirófano con estas dimensiones permite un análisis completo de la propagación de la radiación en un espacio tridimensional con obstáculos comunes.

### **Materiales de las superficies y sus propiedades ópticas UV-C**

Las propiedades ópticas de los materiales de las superficies dentro del quirófano son de suma importancia para la simulación de la radiación UV-C (Poster et al., 2021). A diferencia de la luz visible, la radiación UV-C es fuertemente absorbida por muchos materiales comunes y su reflectividad varía significativamente. La cantidad de UV-C que se refleja en una superficie afecta directamente la irradiancia total recibida en otras áreas, especialmente en zonas que no reciben radiación directa de las lámparas. (Raeiszadeh & Adeli, 2020)

Se consideraron los siguientes materiales típicos de quirófanos y sus coeficientes de reflectividad UV-C a 254 nm:

**Paredes y Techo.**\_ Generalmente recubiertos con pinturas especiales o paneles lavables. Para la simulación, se asumieron materiales con una reflectividad UV-C baja a moderada, ya que la mayoría de las pinturas estándar no están optimizadas para reflejar UV-C. Por ejemplo, una pintura blanca convencional puede tener una reflectividad UV-C del 5% al 15%(Wright et al., 2024).

**Piso.**\_ Usualmente de vinilo o resinas epóxicas, que tienden a ser altamente absorbentes de UV-C, con reflectividades muy bajas (del 3% al 7%).

**Mobiliario y Equipos.**\_ Superficies de acero inoxidable (mesas, carros, equipos) pueden tener una reflectividad UV-C moderada a alta (25% a 35%), mientras que plásticos y otros materiales orgánicos tienden a ser más absorbentes. (Ray et al., 2021)

La importancia de la reflectividad/absorción radica en su impacto en la distribución de la radiación. Superficies altamente reflectantes (como el aluminio pulido o revestimientos UV-C especializados) pueden ayudar a "rebotar" la luz UV-C hacia áreas que de otro modo estarían en sombra, mejorando la uniformidad de la dosis. Por el contrario, superficies altamente absorbentes limitarán la propagación de la luz UV-C y podrían crear sombras más pronunciadas. (Rivera & Martínez, 2020)

**Tabla 2.**

*Coefficientes de Reflectividad UV-C (254 nm) de Materiales Típicos en Quirófanos*

<b>Material de Superficie</b>	<b>Coefficiente de Reflectividad UV-C (254 nm)</b>
<b>Acero Inoxidable (pulido)</b>	0.25 - 0.35
<b>Pintura Epóxica Blanca Mate</b>	0.05 - 0.15
<b>Vinilo Sanitario de Piso</b>	0.03 - 0.07
<b>Vidrio (estándar)</b>	0.04 - 0.08 (depende del tipo y grosor)

---

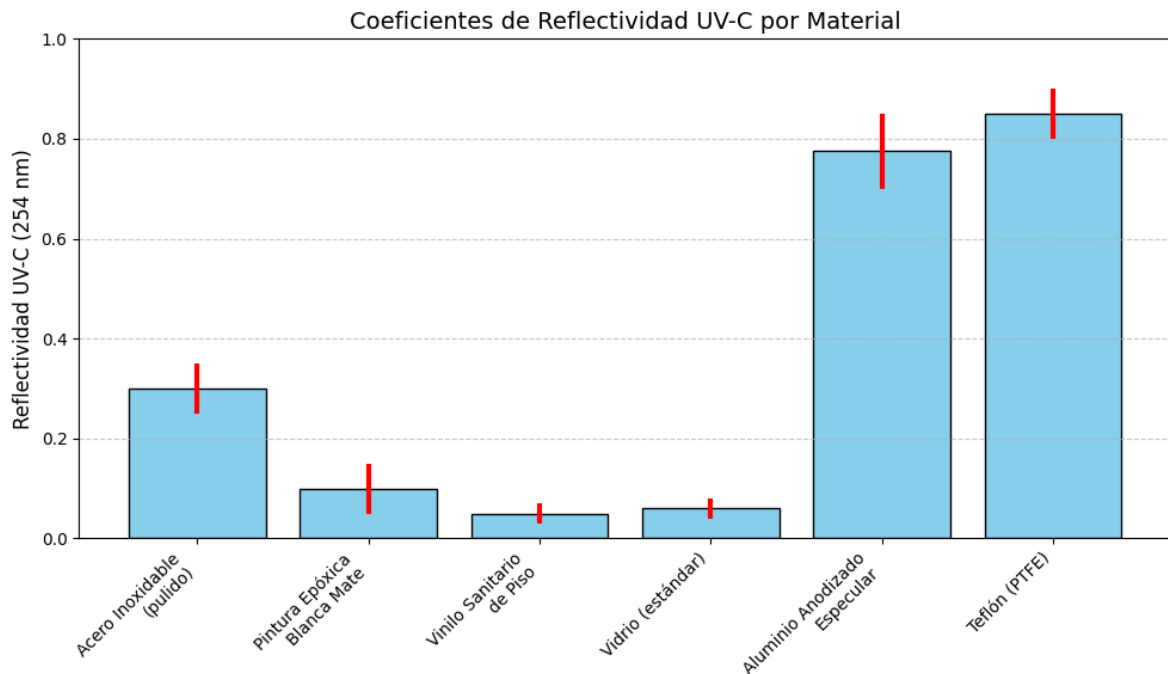
<b>Aluminio Anodizado Especlar</b>	0.70 - 0.85 (si es de grado UV)
<b>Teflón (PTFE)</b>	0.80 - 0.90 (para reflectores)

---

**Fuente:** Quillay (2025)

**Figura 13.**

*Coefficientes de Reflectividad UV-C (254 nm) de Materiales Típicos en Quirófanos*



### Creación del mallado **Simulación Computacional con ANSYS FLUENT**

La simulación computacional de la dinámica de fluidos (CFD) y la transferencia radiativa se ha vuelto una herramienta indispensable en el diseño y la optimización de sistemas complejos, como los de desinfección por UV-C en quirófanos(Wong et al., 2016). Permite predecir el comportamiento de la radiación lumínica en un entorno tridimensional antes de la implementación física, identificando ineficiencias y optimizando la configuración de los emisores UV(Raeiszadeh & Adeli, 2020). Para este estudio, se empleó la suite de software ANSYS, específicamente ANSYS Workbench para la gestión del proyecto y ANSYS Fluent para la ejecución de la simulación(Raeiszadeh & Adeli, 2020).

## Metodología

El presente estudio adoptó un enfoque cuantitativo y una metodología experimental-simulada. El objetivo principal fue diseñar, simular e implementar un sistema de desinfección de quirófano utilizando lámparas germicidas de luz UV-C, considerando parámetros físicos, microbiológicos y de eficiencia energética. La implementación de este sistema se llevará a cabo en el quirófano del Hospital Básico de Shushufindi, en Sucumbíos, Ecuador.

Para la simulación computacional, se diseñó un espacio tridimensional de 4 metros de largo por 4 metros de ancho y 3 metros de alto (4x4x3 metros), dimensiones estándar que permiten acomodar una mesa de operaciones, equipos médicos y lámparas cialíticas. Se asignaron coeficientes de reflectividad UV-C realistas a los materiales internos: pintura epóxica blanca mate (5% - 15%), piso de vinilo sanitario (3% - 7%) y equipos de acero inoxidable (25% - 35%), factores determinantes para el rebote de la luz hacia zonas de sombra.

Para analizar la distribución espacial de la irradiancia se empleó la suite ANSYS (Fluent y SPEOS). El modelo computacional se discretizó mediante un mallado no estructurado poliédrico y tetraédrico de entre 5 y 10 millones de elementos. Se aplicó refinamiento adaptativo en las fuentes de radiación UV-C, obstáculos y superficies límite, garantizando una calidad ortogonal media superior a 0.6 para asegurar la convergencia y precisión de la solución. El software resolvió la ecuación de transporte radiativo mediante el modelo Discrete Ordinates (DO).

## Resultados y discusión

### Resultados

Los análisis de la distribución de radiación UV-C en SolidWorks Flow Simulation, DIALux Evo y ANSYS SPEOS demostraron visual y numéricamente la incidencia de las lámparas instaladas de manera estratégica.

Para calcular la dosis de exposición real de las superficies tras un ciclo de esterilización, se tomaron tres puntos críticos representativos del quirófano bajo un tiempo de exposición constante de 10 minutos (600 segundos). Los resultados y la confirmación de la capacidad germicida se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 3**

*Dosis acumulada y evaluación germicida en puntos críticos (10 min de exposición)*

<b>Punto de Análisis</b>	<b>Incidencia de Radiación (G) [J/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Dosis Acumulada [J/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>Evaluación de Desinfección</b>
<b>Más alto</b>	4.99E3	353	Supera la dosis para esporas resistentes
<b>Medio</b>	3.53E3	353	Supera la dosis para esporas resistentes
<b>Más bajo</b>	2.06E3	206	Asegura desinfección efectiva, superando dosis mínima (100 J/cm <sup>2</sup> )

**Nota:** Virus y bacterias comunes requieren dosis entre 3-50 J/cm<sup>2</sup>, mientras que las esporas más resistentes exigen 100 J/cm<sup>2</sup>.

De manera complementaria, la siguiente tabla refleja la curva de declive de la supervivencia biológica bajo la incidencia de la radiación a lo largo del tiempo de exposición establecido:

**Tabla 4.**

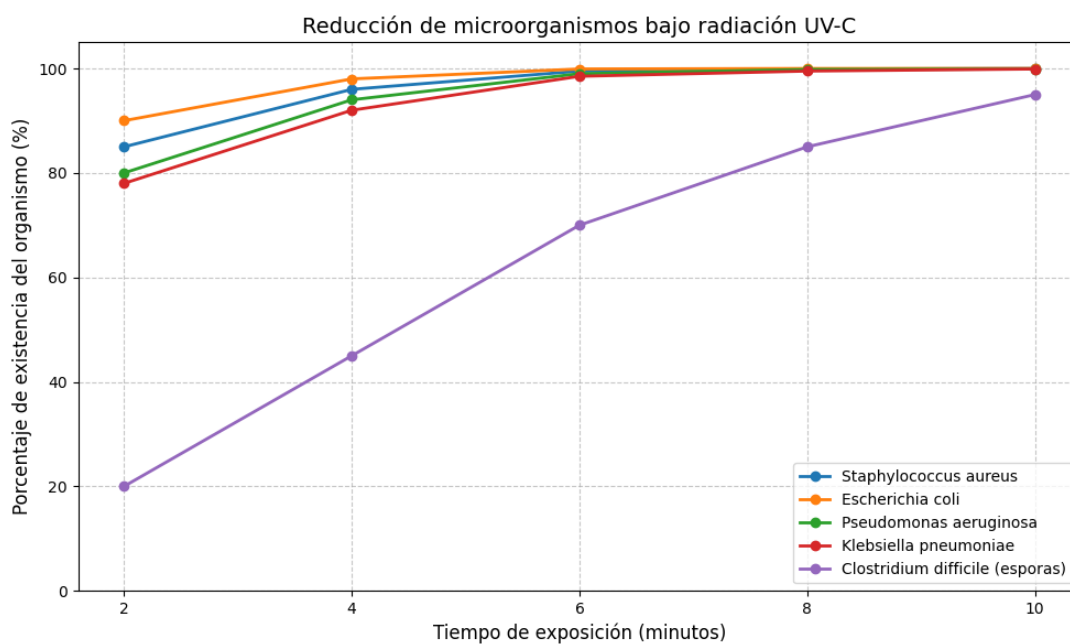
*Porcentaje de inactivación de organismos en función del tiempo*

Especie	2 min (%)	4 min (%)	6 min (%)	8 min (%)	10 min (%)
<i>Staphylococcus aureus</i>	85	96	99.5	99.9	99.99
<i>Escherichia coli</i>	90	98	99.9	99.99	99.999
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	80	94	99.0	99.8	99.90
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	78	92	98.5	99.5	99.90
<i>Clostridium difficile</i> (esporas)	20	45	70	85	95

**Nota:** Resultados de reducción de microorganismos

**Figura 14.**

*Curva de reducción de microorganismos*



## Discusión

Los resultados de este estudio muestran que la implementación de un sistema de desinfección UV-C en quirófanos permite alcanzar niveles adecuados de reducción microbiana en superficies críticas, incluyendo paredes, pisos y equipos médicos (Hooker et al., 2021). Incluso en el punto evaluado con menor irradiancia ( $2.06E3 \text{ J/m}^2$ ), la dosis sostenida por 10 minutos ( $206 \text{ J/cm}^2$ ) supera con creces la marca de los  $100 \text{ J/cm}^2$  necesarios para inactivar patógenos resistentes como *Clostridium difficile* (alcanzando un 95% de inactivación) y logrando más de un 99.9% de destrucción en bacterias comunes.

La correcta ubicación perimetral de las seis lámparas de 40 W, optimizando su altura y orientación, fue el factor mitigante principal frente a las zonas de sombra generadas por el mobiliario (Sun et al., 2023). Esto evidencia que el modelado CFD con ANSYS no solo predice la intensidad lumínica, sino que permite corregir deficiencias arquitectónicas.

Por otro lado, aunque la radiación UV-C automatizada minimiza el error humano e incrementa la bioseguridad, no reemplaza las medidas de control de infecciones convencionales, incluyendo limpieza manual, ventilación adecuada y protocolos de bioseguridad; sino que actúa como una potente barrera complementaria dentro de un esquema multifactorial contra las infecciones nosocomiales (Blau & Gallert, 2024).

Los hallazgos del presente estudio refuerzan la evidencia de que los sistemas de desinfección UV-C, cuando se diseñan y calibran correctamente, constituyen una herramienta potente y segura para reducir la biocarga microbiana en quirófanos. La correcta implementación, acompañada de automatización y monitoreo continuo, permite optimizar la cobertura, minimizar puntos ciegos y aumentar la eficiencia operativa, contribuyendo de manera significativa a la mejora de la bioseguridad hospitalaria y al control de infecciones asociadas a la atención médica (Palma et al., 2025).

## Conclusiones

Los resultados obtenidos confirman que la radiación UV-C (254 nm) es altamente eficaz para la reducción de la carga microbiana en superficies críticas de quirófanos, incluyendo áreas de difícil acceso, mesas quirúrgicas, equipos médicos y paredes. La implementación de un sistema de desinfección UV-C, modelado y simulado con software especializado

como ANSYS Fluent, ANSYS SPEOS, SolidWorks Flow Simulation y DIALux Evo, permitió realizar un análisis tridimensional preciso del quirófano, considerando la reflectividad de superficies, geometría del espacio y posibles zonas de sombra, lo que garantizó una planificación optimizada de la ubicación de las lámparas y el tiempo de exposición necesario.

La aplicación de un mallado estructurado y no estructurado de alta resolución fue determinante para asegurar la precisión de los resultados de la simulación, evidenciando que pequeñas variaciones en la posición de las lámparas o la configuración de los objetos internos pueden generar diferencias significativas en la dosis germicida recibida. La simulación indicó que con una configuración de seis lámparas de 40 W a 1.50 m de altura, un tiempo de exposición de 10 minutos es suficiente para alcanzar dosis superiores a 206 J/cm<sup>2</sup> en los puntos de menor irradiancia, superando los umbrales necesarios para inactivar patógenos comunes y esporas resistentes, incluyendo *Clostridium difficile*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Klebsiella pneumoniae*.

La capacidad de la radiación UV-C para inactivar un amplio espectro de microorganismos sin generar residuos químicos la consolida como una alternativa complementaria robusta frente a los métodos de desinfección tradicionales, asegurando la bioseguridad hospitalaria y la prevención de infecciones nosocomiales. La integración de sistemas automatizados con sensores de presencia y temporizadores optimiza la aplicación de la dosis germicida, evita la exposición accidental del personal y maximiza la eficiencia operativa, permitiendo reducir la dependencia de la limpieza manual y los riesgos asociados a errores humanos.

Este estudio proporciona una base técnica sólida para la implementación de sistemas UV-C en entornos quirúrgicos, validando que la combinación de simulación avanzada, modelado tridimensional detallado y control automatizado de exposición constituye una estrategia efectiva para mejorar los protocolos de desinfección hospitalaria, garantizando seguridad para pacientes y personal de salud, eficiencia en la operación y reducción significativa de la biocarga microbiana en entornos críticos.

## Referencias Bibliográficas

- Acero Guallpa, G. A. (2024). *Desinfección terminal realizada por el personal de enfermería a las salas de quirófano*. <https://dspace.uniandes.edu.ec/handle/123456789/17599>
- Blau, K., & Gallert, C. (2024). Efficacy of UV-C 254 nm Light and a Sporicidal Surface Disinfectant in Inactivating Spores from *Clostridioides difficile* Ribotypes In Vitro. *Pathogens*, *13*(11), 965. <https://doi.org/10.3390/PATHOGENS13110965/S1>
- Erasmó, J., Cuadros, C., María, L., Reyes, Z., Rodolfo, G., Intriago, A., Adalgisa, J., & Delgado, I. (2024). El papel de enfermería en la prevención y manejo de las infecciones nosocomiales mediante el uso de tecnologías avanzadas de desinfección. *Journal Growing Health*, *1*(1), 86–98. [https://doi.org/10.59282/JGH1\(1\)86-98](https://doi.org/10.59282/JGH1(1)86-98)
- Fátima Franco, D., Xavier Solórzano, D., & Carmen Laspina DIRECTORA GENERAL DE SALUD Doctor Juan Martín Moreira, D. A. (2017). *Manual de Normas de Bioseguridad para la red de Servicios de Salud en el Ecuador*. <https://dspace.uniandes.edu.ec/handle/123456789/19398>
- Freire, J. de O. P., Paes, G. O., Gonzalez, C. M., Barreiros, M. da G. C., & Ferreira, A. L. P. (2024). Luz UV-C como estrategia de desinfección del aire y superficies hospitalarias. *Acta Paulista de Enfermagem*, *37*, eAPE002191. <https://doi.org/10.37689/ACTA-APE/2024AO00002191>
- Hooker, E., Bosco, R., Messina, G., Amodeo, D., Cevenini, G., & Gambelli, S. (2021). Using Ultraviolet C (UVC) in Operating Rooms: A Hygiene Improvement. *Antimicrobial Stewardship & Healthcare Epidemiology*, *1*(S1), s63–s63. <https://doi.org/10.1017/ASH.2021.123>
- Palma, F., Díaz-Navarro, M., Visedo, A., Sanz-Ruíz, P., Brandi, G., Schiavano, G. F., & Guembe, M. (2025). Assessment of the anti-biofilm effect of UV-C irradiation (254 nm) against healthcare associated infections related microorganisms. *Frontiers in Microbiology*, *16*, 1570334. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2025.1570334/TEXT>
- Sun, Y., Wu, Q., Liu, J., & Wang, Q. (2023). Effectiveness of ultraviolet-C disinfection systems for reduction of multi-drug resistant organism infections in healthcare settings:



A systematic review and meta-analysis. *Epidemiology & Infection*, 151, e149.  
<https://doi.org/10.1017/S0950268823001371>

### **Contribuciones de los autores**

**Ember Geovanny Zumba Novay<sup>1</sup>**: Conceptualización; diseño metodológico; investigación; análisis formal; redacción del borrador original; revisión y edición del manuscrito.

**Diana Cristina Aguilar Jumbo<sup>2</sup>**: Conceptualización; investigación; análisis formal; interpretación de resultados; redacción del borrador original; revisión crítica del manuscrito.

**Fernando Xavier Zumba Novay<sup>3</sup>**: Investigación; recolección de datos; análisis cualitativo; apoyo metodológico; revisión y edición del manuscrito.

**Peña Robles Carmen Jhuliana<sup>4</sup>**: Investigación; recolección de datos; análisis cualitativo; sistematización de información; revisión del manuscrito.

**Agradecimiento:** N/A

**Conflicto de intereses:** Los autores declaran que no existe conflicto de interés