



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

“DISEÑO DE SISTEMA BASADO EN LUZ UV-C PARA LA DESINFECCIÓN DE INSTRUMENTOS QUIRÚRGICOS EN ÁREAS HOSPITALARIAS”: una revisión de la literatura científica.

Trabajo de investigación para optar al grado de:  
**Bachiller en Ingeniería Mecatrónica**

**Autor:**

Pacherrez Mamani, Pedro Arturo

**Asesor:**

Mg. Zarate Perez, Juan Eliseo

Lima – Perú  
2020

## **DEDICATORIA**

El presente documento es especialmente dedicado a mi familia, quienes son fundamentales en mi empeño constante en mis estudios y en la vida en general.

Además de sus consejos y recomendaciones constructivas con las que logré culminar este trabajo.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis docentes por las enseñanzas en la etapa universitaria, a la Universidad Privada del Norte por recibirme y ser mi casa de estudios, brindándome los conocimientos necesarios para formarme profesionalmente. Al docente asesor por guiarme en el proceso de investigación y a mis amigos por el apoyo mutuo.

## Tabla de Contenido

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| DEDICATORIA .....               | 2  |
| AGRADECIMIENTO.....             | 3  |
| ÍNDICE DE TABLAS .....          | 5  |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....         | 6  |
| RESUMEN .....                   | 7  |
| CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....  | 8  |
| CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....   | 11 |
| CAPÍTULO III. RESULTADOS .....  | 13 |
| CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES ..... | 22 |
| REFERENCIAS .....               | 25 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Descripción de fuentes estudiadas.               | 06 |
| Tabla 2. Descripción y abordaje de las fuentes revisadas. | 10 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Proceso de descarte.                                      | 08 |
| Figura 2. Gráfico Porcentual de las páginas científicas revisadas.  | 13 |
| Figura 3. Gráfico Porcentual de los temas generales de las fuentes. | 14 |

## RESUMEN

Los ambientes hospitalarios siempre han sido propensos a la propagación de patógenos malignos entre pacientes o cualquier persona que conviva en dichos entornos. Estas llamadas, infecciones intrahospitalarias, deben ser prevenidas con responsabilidad por parte de los centros médicos. Para esto, el proceso de limpieza, lavado y desinfección de los instrumentos, superficies y equipos hospitalarios son fundamentales. Estos procesos; sin embargo, se basan en el uso de líquidos no reusables, lo que crea pérdidas materiales, económicas y desechos medioambientales. Por esta razón, el presente trabajo de investigación tiene como objetivo diseñar un sistema de desinfección basado en luz UV-C para instrumentos hospitalarios, apoyándose en la propiedad germicida de esta tecnología.

En este documento, se realizará una revisión científica sobre la situación actual de los procesos de desinfección mayormente usados por centros médicos. Los trabajos revisados fueron extraídos de bases de información como Redalyc, SciELO, Research Gate, entre otros; considerando solo aquellos que fueron publicados desde el año 2000 hacia adelante. Como resultados, se logran identificar deficiencias en los métodos de desinfección actuales; además, se encuentran variantes novedosas aplicando tecnologías limpias para la eliminación de patógenos que; al mismo tiempo, aumenta la rapidez del proceso y eficiencia. La capacidad de ser controlados y monitoreados remotamente es un factor también a considerar como objetivo del proyecto.

**PALABRAS CLAVES:** Desinfección, UV-C, control, monitoreo, ambiente hospitalario.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El ser humano desde sus orígenes se ha enfrentado a una biosfera dominada por microbios. Con el tiempo, se consiguió algunos usos favorables de esta relación hombre y bacteria, como el proceso de fermentación, usado en la industria de alimentación. Sin embargo, en muchos otros casos, estos microorganismos son perjudiciales para el hombre, como en las enfermedades infecciosas (Vidal, 2003). Según la “Organización Mundial de la Salud” (OMS), las enfermedades infecciosas (“infectious diseases” en inglés) son resultados de microorganismos patogénicos, como una bacteria, un virus, parásitos o fungi. Las enfermedades pueden propagarse, directa o indirectamente, entre personas.

Por un tiempo en el siglo XX, el acceso a agua y saneamiento, la creación de vacunas y antibióticos, hizo creer a algunos que las enfermedades infecciosas (ID) quedarían atrás. Como resultado, hubo un desinterés en la higiene en las décadas recientes. Desde inicios de este siglo, las ID han aumentado, en su mayoría por la mala transmisión de alimentos y la poca sanidad del agua resultando en infecciones intestinales e infecciones intrahospitalarias (Bloomfield, 2007). Este último tipo de infección es en el que el presente estudio se centrará. El ambiente médico es inevitablemente, un lugar idóneo para la generación y difusión de infecciones, causando en el paciente alteraciones graves y hasta la muerte (Molina et al., 2003).

Entre un 5 a 10% de pacientes internados en un hospital adquiere las infecciones intrahospitalarias. En este porcentaje, influye: la edad, su estado inmunitario y la patología de base; este último, determina el área de internamiento del paciente. En ese sentido, los servicios de quemados, UTI y salas quirúrgicas son las más infecciosas. Por ello, es fundamental realizar

una limpieza eficiente del medio e instrumentos del ambiente hospitalario y de las superficies para que disminuya la carga de microorganismos y el riesgo de una posible infección (Alvarado et al., 2018).

Según Abreu et al. (2013) los métodos más frecuentes para desinfectar y esterilizar superficies o instrumentos en hospitales involucran el uso de agentes químicos como amoníaco, aldehídos, alcohol y halógenos o radiación y calor. La diferencia en sus usos se da por precios y materiales a tratar, pero tienen como desventajas requerir fluidos para funcionar y el tiempo largo de aplicación necesaria. Además, entre 5-30% de superficies o instrumentos permanecen potencialmente contaminados (Casini et al., 2019). En Perú, los estudios respecto al conocimiento, actitudes y prácticas (CAP) del sector salud sobre los métodos para la Prevención y control de las IHH (lavado de manos, aislamiento, desinfección y esterilización y salud laboral – inmunizaciones), han permitido observar y documentar la falta de información y de práctica (Arévalo et al., 2003).

En este sentido, la búsqueda de métodos para la desinfección crece y se innova constantemente para mejores resultados. Como lo describe Kowalski (2009) la irradiación Germicida de la luz Ultravioleta (UVGI) es una radiación electromagnética que puede destruir la habilidad de los microorganismos para reproducirse a través de cambios fotoquímicos en su ácido nucleico. Los rayos UV tienen rangos diferenciados por su longitud de onda (UV-A, UV-B y UV-C). Las ondas UV-C (225 to 287 nm) son especialmente dañinas a las células porque son absorbidas por los ácidos nucleicos.

La medicina fue la primera en endosar los efectos germicidas de los rayos UV, sobre todo para desinfectar las áreas de operaciones. La ausencia de efectos residuales es la mayor ventaja de este método de desinfección (Katara et al., 2008). Sin embargo, Lindblad (2019) aclara que, a medida que el mercado de la irradiación UVC crece, algunas dudas sobre su eficacia también lo hacen. Su relativa corta longitud de onda es más eficaz sólo en distancias pequeñas y a una exposición directa de la luz. Además, se nota una falta de seguridad en ellas, pues a esta longitud de onda, la luz UV es más dañina a la piel.

Por lo antes expuesto, se planteó el estudio presentado con el propósito de poder responder a la pregunta: ¿Es posible diseñar un sistema capaz de desinfectar instrumentos de áreas hospitalarias que mejore los procesos actuales, basándose en el uso de rayos UV-C? Un sistema de desinfección con esta tecnología dispondría de sensores para medir el nivel de intensidad del espectro, además de un microcontrolador PIC para la comunicación con un dispositivo portátil para monitorear y accionar el sistema de manera remota.

Para responder a esta pregunta se estableció como objetivo analizar métodos de desinfección actuales e identificar aparatos de desinfección UV en áreas hospitalarias. Por esa razón, se realizó una revisión y análisis de diversos artículos científicos que tienen relación al propósito y diseño de la investigación.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

La revisión sistemática de la literatura científica fue la metodología utilizada. La pregunta definida en el capítulo anterior se tomó en base a una recopilación de papers, investigaciones y revistas científicas sobre los temas de uso de la luz UV-C como instrumento de desinfección y esterilización y la limpieza de hospitales para evitar infecciones intrahospitalarias. Dichas recopilaciones se dieron entre Enero y Abril del 2020 y se encontraron mayormente en el idioma inglés y español, considerando unos cuantos en portugués. Las fuentes utilizadas fueron las siguientes:

Tabla 1:  
*Descripción de fuentes estudiadas.*

| Base de Datos  | Descripción  |
|--|--|
| <b>Redalyc</b>                                       | Redalyc es una base documentaria libre de revistas científicas de países de habla hispana y Portugal.                            |
| <b>SciELO (Scientific Electronic Library Online)</b> | Es una biblioteca en línea con publicaciones completas de revistas científicas en diferentes idiomas.                            |
| <b>Repositorios de Universidades</b>                 | Son aquellas plataformas virtuales universitarias que contienen tesis de diferentes especialidades y grados.                     |
| <b>Google Académico</b>                              | Buscador de la empresa google especializado en búsqueda de contenidos y artículos de revistas científicas.                       |
| <b>Research Gate</b>                                 | Es una red de investigación libre y una herramienta de colaboración dirigida a personas con fines científicos.                   |
| <b>Asociación Internacional Ultravioleta (IUVA)</b>  | Institución que estudia y reúne información, aplicaciones e innovaciones en la ciencia de los rayos UV para el beneficio humano. |

De las fuentes anteriores, se logró recopilar un total de 110 documentos asociados al tema. Tras la búsqueda y descartes realizado se obtuvo 40 fuentes principales.

Para la búsqueda de investigaciones relacionadas al tema tratado se usaron palabras clave como “ultravioleta”, “desinfección”, “hospitales”, “esterilización” y “sistemas”. La unión de estas palabras o cada una de manera individual dieron diversos resultados, informes cortos de resumen, otros de experimentación y otros de pruebas o conclusiones gráficas de laboratorios.

Para delimitar la cantidad de información encontrada se establecieron criterios de búsqueda. Además de tomar en cuenta investigaciones de las páginas anteriormente mencionadas, se consideraron publicaciones sólo con fechas del año 2000 hacia adelante. El tema presentado posee estudios desde aproximadamente los años 60 del XX, por esa razón se consideró que los últimos 20 años tienen información suficiente y necesaria para realizar la investigación. No se hizo diferencias de prioridad entre los idiomas inglés, español y portugués.

El descarte de documentos se hizo por fecha de su publicación, del año 2000 en adelante y por la relevancia hacia el tema investigado. No se consideraron investigaciones referentes a otras industrias que no sea la de medicina, como la de alimentación y minería.

La selección de datos se realizó con los documentos más sobresalientes y se realizó la enumeración de los artículos que se seleccionó. Asimismo, se seccionaron las fuentes por el tema general en el que aportaron a la investigación.

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

Se revisaron 40 artículos con relación al tema investigado; de los cuales, 7 se descartaron haberse publicado antes de los parámetros preferidos. Luego, se hizo una revisión cuidadosa de los 33 documentos restantes. Con ello se encontró que 3 archivos podían descartarse por el poco aporte resaltante en comparación con los demás. Por lo que, se tuvieron realmente 30 fuentes de información estudiadas. Este proceso de descarte se representa en la Figura 1.

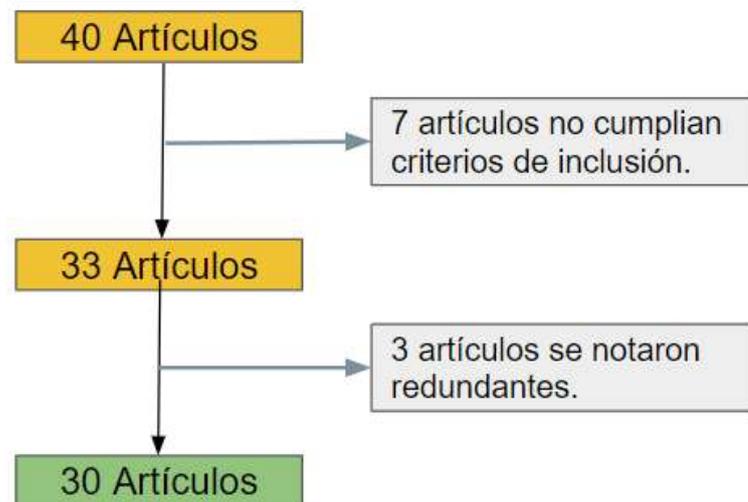


Figura 1. Proceso de descarte. Fuente propia.

Ocho de estos documentos explicaban el uso de sistemas UV C para superficies, alimentos o diferentes áreas. Era importante notar que el efecto de esterilización de los rayos no afectaba al alimento en olor ni sabor; por lo que su uso era muy recomendado si se siguen procesos de seguridad (Vicente, 2005). Para las superficies, era necesario aplicar una dosis constante, sin dejar sombras o puntos ciegos, lo que puede significar una limitación de esta tecnología (Katara, 2008).

Siete estudios, se centran en la descripción y funcionamiento de los rayos germicidas. Estos, incluyen cálculos de las dosis basadas en pruebas de laboratorio. Se describen dos tipos de fuentes de luz UV C: la luz LED y la lámpara de Mercurio. Dentro del último tipo hay diferentes variantes, con diversos tiempos máximos de uso, temperaturas promedio, potencia, etc. y son los más usados en el área médica (Renzel, 2016). El uso de luz LED UV C para desinfección y esterilización es una alternativa más económica y segura, además de ahorrar mucho espacio por su tamaño compacto (Beck, 2018). Se especifica también que tienen como desventaja el menor poder germicida; por lo que, requieren de más tiempo de exposición comparados a las lámparas de mercurio.

Según Alcántara et. al. (2016), el uso de LED con tecnología de luz UV pueden tener un efecto nulo en la desinfección. Se llegó a esa conclusión tras experiencias con diferentes bacterias en laboratorio realizadas por el propio autor. Sin embargo, esto puede ser explicado por la baja potencia que se utilizó, la baja longitud de onda de la matriz de LEDs y por el tiempo limitado de exposición. En esta investigación, se llega a concluir que al tener menos eficacia que otras variantes de fuentes UV, se deben tomar cuidados y mediciones de dosis superiores al del umbral, para lograr resultados efectivos. En la tabla 2 se indican los documentos revisados con el abordaje de cada uno.

Tabla 2.

*Descripción y abordaje de las fuentes revisadas.*

| <b>Fuente</b>            | <b>Tipo</b> | <b>Recursos</b>  | <b>Abordaje</b>  | <b>Tema</b>                                      |
|--------------------------|-------------|------------------|--|--|
| (Anónimo, 2001)          | Artículo    | Google Académico | La reflexión de luz ayuda a una aplicación más efectiva y constante de radiación. Se estudian los materiales más favorables para ello. |  |
| (Renzel, 2016)           | Artículo    | Google Académico | Tipos de Lámparas de Mercurio de luz UV C. Diseños, usos y características.  |  |
| (Malayeri et al., 2015)  | Paper       | IUVA             | Dosis mínima y crítica de exposición germicida UV para variedades de virus.  | Teoría, cálculos y funcionamiento de rayos UV C. |
| (Beck, 2018)             | Artículo    | Research Gate    | Avances y diseños compactos de desinfección UV C tipo LED, recomendaciones y aplicaciones  |  |
| (Alcántara et al., 2016) | Paper       | Google Académico | La desinfección UV C a través de luz LED puede tener un efecto nulo en bacterias por bajas potencias y corto tiempo de aplicación.     |  |
| (Kowalski, 2009)         | Artículo    | Research Gate    | Revisión general de historia, aplicaciones, evoluciones, funcionamiento, etc. de los rayos UV C para uso germicida.                    |  |
| (May, 2020)              | Monográfico | NIST             | Estudio de la intensidad de lámparas UV de baja y media presión. Diseño de sensores ultravioletas.                                     |  |
| (Anónimo, 2017)          | Guía        | Google Académico | Uso, mantenimiento y mecanismo de sistemas de desinfección UV C.   |  |
| (Lecam, 2020)            | Artículo    | Google Académico | Radiación UV C para desinfección de ambientes. Estudio de comportamiento de DNA/RNA de bacterias y posible uso para enfrentar          |  |

el virus SARS-CoV-2.

| Fuente                    | Tipo                 | Recurso          | Abordaje  | Tema                                       |
|---------------------------|----------------------|------------------|---|--|
| (Casini et al., 2019)     | Paper                | NCBI             | Uso de desinfección UV y análisis de muestras de 345 superficies en áreas hospitalarias.                                      |  |
| (Lindbland et al., 2019)  | Paper                | Google Académico | Análisis con radiómetros de la cantidad de intensidad UV lograda en diferentes puntos de un área con una lámpara de mercurio. |  |
| (Napolitano et al., 2015) | Paper                | Google Académico | Análisis estadístico de casos de infección intrahospitalaria con el uso de desinfección UV C.                                 | Aplicación de UV C en áreas hospitalarias. |
| (Sánchez et al., 2012)    | Paper                | SciELO           | Evaluación del efecto de luz UV C en microorganismos en UCI y efectos en la climatización.                                    |  |
| (Anguita, 2014)           | Paper                | Google Académico | Aplicación de Sistema de Desinfección UV C en maquinaria de hospitales.   |  |
| (Wekhof, 2001)            | Paper                | Google Académico | Aplicación de desinfección UV C por pulsos para ámbitos hospitalarios.  |  |
| (Alvarado et al., 2018)   | Tesis                | Repositorio UPCH | Análisis de contaminación bacteriana en celulares y otros artículos frecuentes en hospitales.                                 |  |
| (Perez et al., 2010)      | Artículo de Revisión | SciELO           | Evaluación de infecciones intrahospitalarias, partiendo de sus causas, control actual y prevención.                           | Análisis de las bacterias más frecuentes.  |

---

|               |          |               |  |
|---------------|----------|---------------|--|
| (Vidal, 2003) | Artículo | Research Gate | Importancia de las bacterias en la evolución humana. |
|---------------|----------|---------------|--|

---

| Fuente                 | Tipo                     | Recursos         | Abordaje  | Tema   |
|------------------------|--------------------------|------------------|---|--|
| (Cadnum, 2017)         | Artículo                 | Research Gate    | Aplicación de un sistema automatizado de desinfección UV C en diferentes áreas. | Sistemas de desinfección y/o limpieza para diversas áreas. |
| (Katara et al., 2008)  | Artículo                 | Google Académico | Evaluación de resultados de la aplicación de desinfección UV C en superficies.  |  |
| (Lopes et al., 2014)   | Tesis                    | Redalyc          | Esterilización por UV C de aguas tratadas.                                      |  |
| (Vicente et al., 2005) | Artículo                 | Google Académico | Efectos de uso de rayos UV C en pimientos.                                      |  |
| (Huanxin, 2013)        | Artículo                 | Research Gate    | Diseño y aplicación de un sistema controlado de limpieza de superficies.        |  |
| (Rossel et al., 2020)  | Revista de Investigación | SciELO           | Obtención del tiempo de exposición necesario para el tratamiento de agua.       |  |
| (Medina 2004)          | Tesis                    | Google Académico | Diseño para lavado y desinfección por UV C en tuberías de agua.                 |  |
| (Abreu et al., 2013)   | Revisión Literaria       | Research Gate    | Estudio de microorganismos, transmisión, tiempo de permanencia y síntomas.      | Revisión de métodos de Desinfección.                       |
| (Arévalo et al., 2003) | Paper                    | SciELO           | Control y revisión de infecciones intrahospitalarias en San Martín, Perú.       |  |
| (Bloomfield, 2007)     | Artículo                 | NCBI             | Revisión de importancia y desinterés reciente de la desinfección.               |  |

---

|                       |          |                  |   |
|-----------------------|----------|------------------|---|
| (Molina et al., 2003) | Guía     | Google Académico | Instrucciones y reglamentos para la limpieza, desinfección y esterilización de artículos hospitalarios. |
| (Zúñiga et al., 2019) | Artículo | Research Gate    | Frecuencia necesaria para la desinfección.  |

---

Estadísticamente se debe detallar que, de los 30 artículos recurridos, el 46% proviene de Google Académico, lo que representa 13 documentos de investigación. El 23% del total; es decir, 7 artículos, fueron encontrados en ResearchGate. En menor medida, el 10%, que representa 4 archivos, fueron extraídos de SciELO. El 6.7% fue obtenido de IUVA y en misma proporción; otros 2, fueron de NCBI. Finalmente 1 artículo se rescató de Redalyc y otro del repositorio universitario de la Universidad Privada Cayetano Heredia, estos representan el 3.3% cada uno. Esto queda representado en la Figura 1.

### Fuentes de Documentos

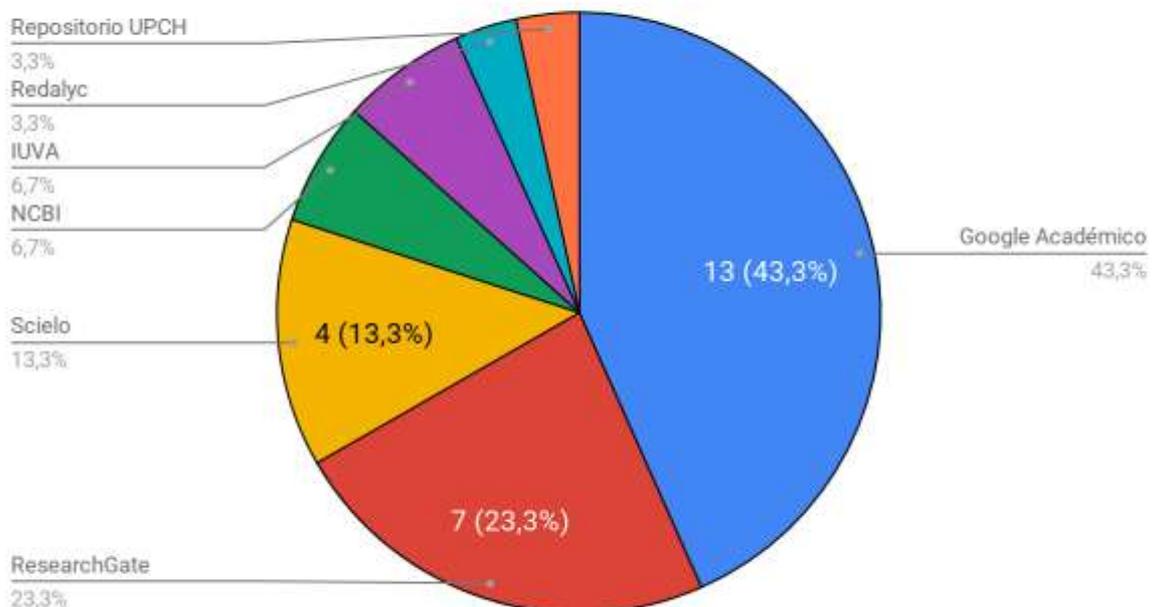


Figura 2. Gráfico Porcentual de las páginas científicas revisadas.

Las 30 fuentes se seccionaron por el tema que abordaban. Los 5 tipos de temas fueron los siguientes: Teoría, cálculos y funcionamiento de rayos UV C, Aplicación de rayos UV-C en áreas hospitalarias, Análisis de las bacterias más frecuentes, Sistemas de desinfección y/o limpieza para diversas áreas y Revisión de métodos de Desinfección. La cantidad de documentos de cada tema se representa mejor en la Figura 2.

Temas Generales de los Documentos revisados.

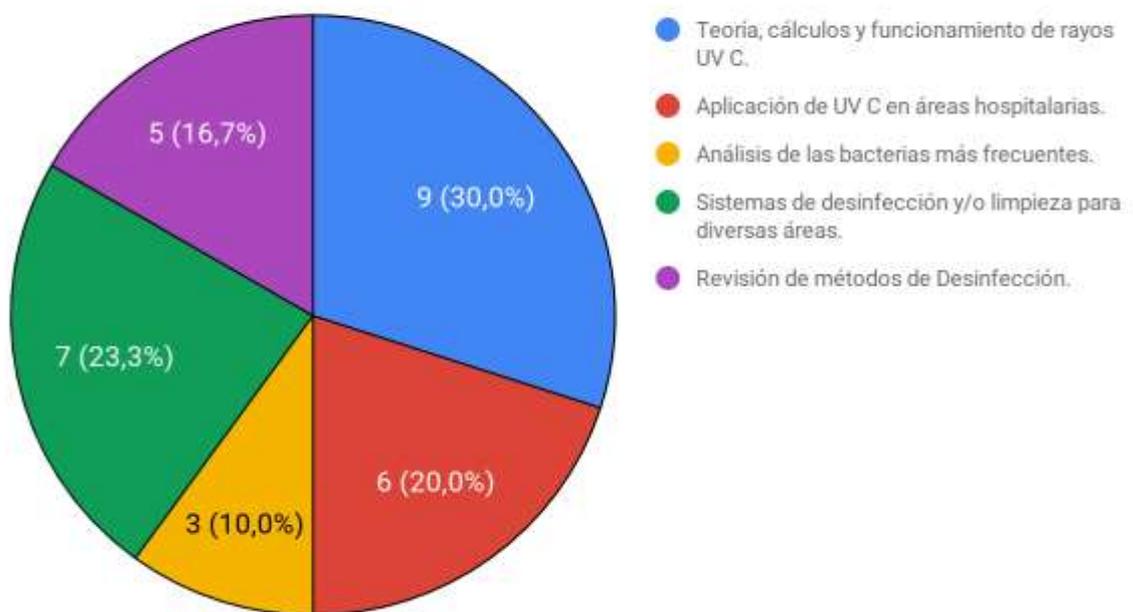


Figura 3. Gráfico Porcentual de los temas generales de las fuentes.

Las opciones en el mercado de los tipos de luz UV C son variadas. Esto significa que, dependiendo de la aplicación y objeto o superficie a desinfectar, se podrá elegir una variante que se acomode mejor. Sin embargo, al elegir el tipo de fuente germicida es necesario tomar en consideración la potencia del mismo (Renzel, 2016). Los cálculos de dosis necesaria (medidos en  $Ws/m^2$ ) son sencillos, obtenidos por la multiplicación de la Irradiación ( $mW/cm^2$ ) y el tiempo de exposición (s), variando por el tipo de bacteria, las dimensiones del

objeto o superficie, etc., existen cuadros que indican la intensidad necesaria para diferentes casos (Malayeri et al., 2015).

Para (Beck, 2018) la desinfección con luz LED UV C ha tenido avances considerables. Además de ser menos tóxico que las lámparas, su tamaño reducido lo posiciona como una gran alternativa para el tratado de aguas en tanques o en pequeñas cantidades bebibles o para la ventilación en hoteles u hospitales y evitar que se desencadenen enfermedades. Las posibilidades son muchas y beneficiosas siempre que se mantengan los cuidados necesarios.

Los artículos que tratan sobre sistemas de desinfección y/o limpieza para diversas áreas, permiten conocer el control para procesos de este tipo. Describen la infraestructura de hardware básica, desde el controlador hasta periféricos, enfocándose en la rapidez y bajo consumo. Estos pueden ser con comandos a distancia y necesitan una interfaz amigable para cualquier persona que desee controlarlo (Huanxin, 2013). Por otro lado, para el control remoto del sistema se revisó información sobre el Modulo ESP8266, que permite una comunicación por red entre sistemas maestro y esclavo con protocolos Wi-Fi, ideal para crear interfaces entre dispositivos y la red internet. Su bajo costo y variedad de tipos lo han vuelto popular en la electrónica e IoT (Internet de las Cosas) (Ceja, 2017).

Los documentos relacionados a las bacterias y métodos de limpieza y desinfección actuales permitieron entender más sobre estas técnicas. Según Molina et al. (2003) es necesaria la limpieza superficial con agua de superficies o artículos de uso regular antes de desinfectarlos y este es un requerimiento incluso para la desinfección con rayos UV C. Para Casini et al.

(2019), según los registros obtenidos por el autor, este paso puede ser omitido si la intensidad de radiación es mayor a la del umbral. De todos modos, el proceso de desinfección debe incluir el previo lavado o remojo de instrumentos en agua, para considerarse completo.

## CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES

Los documentos revisados permitieron conocer la efectividad de la luz UV-C para ambientes hospitalarios; además de términos, tecnologías y diseños de sistemas de desinfección. En temas de situación actual, según Walker et al. (2013) la desinfección con luz UV-C para instrumentos quirúrgicos se presenta como una alternativa superior a las actuales, que incluyen el uso de líquidos desinfectantes como alcohol, lejía, etc., por su rapidez (menores tiempos requeridos), limpieza (ausencia de líquidos no reusables) y mejor desempeño (es efectiva frente a más patógenos). Como especifica Abreu et al. (2013), la desinfección con luz ultravioleta ha mostrado ser mejor en la eliminación de ciertos microorganismos como bacterias en superficies contaminadas y en esporas *C. difficile*, típicas en ambientes hospitalarios que provocan enfermedades intestinales.

Los estudios relacionados con la tecnología UV permitieron reconocer fórmulas que relacionan las variables principales en el proceso de desinfección. Algunas de estas variables, son el Tiempo de Exposición ( $E_t$ ), la Irradiancia de luz ( $I_R$ ), Dosis aplicada ( $D$ ), y la fórmula que las relaciona es:  $D = E_t \cdot I_R$ . También, gracias a ellas se puede estimar porcentajes de sobrevivencia tras la desinfección (Blázquez, 2019). La fracción de supervivencia ( $S$ ) tras la exposición de Luz UV se representa mediante una ecuación exponencial, donde  $S = e^{(-kD)}$ , donde  $k$  es la cte. de radiación.

La importancia de estas relaciones se refleja en la eficiencia del proceso; es decir, el cumplimiento de desinfección con los mínimos recursos necesarios. En otras palabras, con parámetros exactos se logra una desinfección con menores recursos, pero siendo aún eficaz. Otros datos a tener en cuenta, son la eliminación de sombras y una exposición constante y uniforme. Para lograr esto último, se recomienda el uso de paredes con materiales con alto grado de reflexión de luz, como el politetrafluoroetileno (95% de reflexión) y el aluminio (80% de reflexión) (Anónimo, 2016).

Para el diseño propio del sistema, la revisión sistemática resaltó aspectos a considerar como el tipo de lámpara a utilizar. Las lámparas de mercurio otorgan un mejor efecto de desinfección; según Alcántara et al. (2016), comparado con las variantes de luz LED UV. En contra parte, las lámparas de gas o de mercurio tienen mayores volúmenes y generan mayor consumo. Aún con esas características, las lámparas de gas son más efectivas, siendo las de tipo Led una variante aún por mejorar (Beck, 2018).

Para el control del sistema se encontraron ventajas en el uso de microcontroladores PIC, por su precio razonable y software de programación sencillo y libre. Junto a él se revisaron características de módulos, actuadores y sensores. El módulo ESP 8266 se presenta como un instrumento ideal para el proyecto, por su bajo costo y funcionalidad para el IoT. Sobre los sensores se determinó el uso de radiómetros, sensores de luz UV-C. Sobre ellos, May (2020) indica que constan de una serie de capas y filtros de luz, con una fotoresistencia de base que da como resultado variaciones de voltajes de salida. Los radiómetros son vendidos en mercados

internacionales y el tiempo de envío puede ser largo, pero darán mediciones muy exactas, comparado con variantes más sencillas o hechas con materiales básicos.

Tras el análisis y la revisión científica se logra responder la pregunta planteada en el capítulo inicial. Queda demostrado que sí es posible realizar un sistema basado en luz UV-C para la desinfección de instrumentos en áreas hospitalarias que mejore los métodos actuales. Las mejoras se dan en: la eliminación de líquidos no reusables, pues la tecnología UV no los requiere; reducción de tiempos y eficacia; pues elimina una mayor cantidad de patógenos. Para ello, se determina la dosis necesaria con la emisión de luz escogida, que para este proyecto será la lámpara UV. Se establece el aluminio como material principal del sistema por su alto índice de reflectividad. Finalmente, el control del sistema se basará en un microcontrolador de Microchip, periféricos como radiómetros y sensores de Temperatura y un Módulo ESP8266 para comunicación por internet, que brindará un diseño de interfaz de usuario sencillo.

## REFERENCIAS

- Abreu, A., Tavares, R., Borges, A., Megulhão, F. & Simões, M. (2013) Current and emergent strategies for disinfection of hospital environments. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/250614619\\_Current\\_and\\_emergent\\_strategies\\_for\\_disinfection\\_of\\_hospital\\_environments](https://www.researchgate.net/publication/250614619_Current_and_emergent_strategies_for_disinfection_of_hospital_environments)
- Alcántara, F.; Moreno, R.; Moreno, A.; Muñoz, J. & Gómez, R. (2016) Nulo efecto bactericida de la radiación ultravioleta emitida por diodos LED.
- Alvarado, M., Tuesta, M. & Zuñiga, M. (2018) Contaminación Bacteriana y Tipo de Bacterias en Teléfonos celulares del personal de salud en la Unidad de Cuidados Intensivos, Hospital Nacional 2017. - Tesis de Especialización. Recuperado de: [http://repositorio.upch.edu.pe/bitstream/handle/upch/4565/Contaminacion\\_AlvaradoHerrera\\_Maria.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.upch.edu.pe/bitstream/handle/upch/4565/Contaminacion_AlvaradoHerrera_Maria.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Anguita, E. (s.f.) Desinfección ultravioleta del mobiliario clínico de la unidad de Neurología, Ictus y Neurocirugía del Hospital Clínico Universitario de Valladolid. Recuperado de: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/5180/TFG-H77.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Anónimo (2016) Using UV Reflective Materials to Maximize Disinfection. Crystal IS Application Note. Recuperado de: <https://www.klaran.com/images/kb/application-notes/Using-UV-Reflective-Materials-to-Maximize-Disinfection---Application-Note--AN011.pdf>
- Anónimo (2017) DNA/RNA UV - cleaner box. Biosan. Recuperado de: [https://biosan.lv/media/products/files/uv\\_boxes\\_en3-401\\_11012017\\_ZkkZ9sj.pdf](https://biosan.lv/media/products/files/uv_boxes_en3-401_11012017_ZkkZ9sj.pdf)
- Arévalo, H., Cruz, R., Palomino, F., Fernández, F., Guzmán, E. & Melgar, R. (2003) Aplicación de un programa de control de infecciones intrahospitalarias en establecimientos de salud de la región San Martín, Perú. Recuperado de: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1726-46342003000200005&lang=pt](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342003000200005&lang=pt)
- Beck, S. (2018) UV LED Disinfection 101. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/327574354\\_UV\\_LED\\_Disinfection\\_101](https://www.researchgate.net/publication/327574354_UV_LED_Disinfection_101)

- Blázquez, E. (2019) Ultraviolet light (UV-C) as a redundant biosafety step for pathogen inactivation in the manufacturing process of spray dried plasma from animal origin. Recuperado de: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/667360/ebs1de1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bloomfield, S. (2007) Importance of disinfection as a means of prevention in our changing world hygiene and the home. US National Library of Medicine National Institutes of Health. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2831500/>
- Cadnum J. (2017) Next-Generation UV: Evaluation of a Robotic Ultraviolet-C Room Disinfection Device. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/320205148\\_Next-Generation\\_UV\\_Evaluation\\_of\\_a\\_Robotic\\_Ultraviolet-C\\_Room\\_Disinfection\\_Device](https://www.researchgate.net/publication/320205148_Next-Generation_UV_Evaluation_of_a_Robotic_Ultraviolet-C_Room_Disinfection_Device)
- Casini, B., Tuvo, B., Cristina, M., Spagnolo, A., Totaro, M., Baggiani, A. & Privitera, G. (2019) Evaluation of an Ultraviolet C (UVC) Light-Emitting Device for Disinfection of High Touch Surfaces in Hospital Critical Areas. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6801766/>
- Ceja, J.; Rentería, R.; Ruelas, R. & Ochoa, G. (2017) Módulo ESP8266 y sus aplicaciones en el internet de las cosas. Recuperado de: [https://www.ecorfan.org/republicofperu/research\\_journals/Revista\\_de\\_Ingenieria\\_Electrica/vol1num2/ECORFAN\\_Revista\\_de\\_Ingenier%C3%ADa\\_El%C3%A9ctrica\\_VI\\_N2\\_3.pdf](https://www.ecorfan.org/republicofperu/research_journals/Revista_de_Ingenieria_Electrica/vol1num2/ECORFAN_Revista_de_Ingenier%C3%ADa_El%C3%A9ctrica_VI_N2_3.pdf)
- Huanxin, L. (2013) Control System Design for a Surface Cleaning Robot. International Journal of Advanced Robotic Systems. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/269785034\\_Control\\_System\\_Design\\_for\\_a\\_Surface\\_Cleaning\\_Robot](https://www.researchgate.net/publication/269785034_Control_System_Design_for_a_Surface_Cleaning_Robot)
- Katara, G., Hemvani, N., Chitnis, S., Chitnis, V. & Chitnis, D. (2008) Surface disinfection by exposure to germicidal UV light. Indian Journal of Medical Microbiology. Recuperado de: <http://www.bioline.org.br/pdf?mb08074>
- Kowalski, W. (2009) Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook. UVGI for Air and Surface Disinfection. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/285797673\\_Ultraviolet\\_Germicidal\\_Irradiation\\_Handbook](https://www.researchgate.net/publication/285797673_Ultraviolet_Germicidal_Irradiation_Handbook)

- Lecam, M. (2020) Estudio de la radiación UV-C como método de desinfección de ambientes y superficies con enfoque en la prevención del contagio de COVID-19.
- Lindblad, M., Tano, E., Lindahl, C., & Huss, F. (2019) Ultraviolet-C decontamination of a hospital room: Amount of UV light needed. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305417919300920>
- Lopes, E., Montenegro C., Serafine, C., & Batista, R. (2014) Sterilization of swine wastewater treated by anaerobic reactors using UV photo-reactors. *Acta Scientiarum. Technology*. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=3032/303231830004>
- Malayeri, A.; Mohseni, M.; Cairns, B. & Bolton, J. (2015) Fluence (UV Dose) Required to Achieve Incremental Log Inactivation of Bacteria, Protozoa, Viruses and Algae. Recuperado de: [https://www.iuvanews.com/stories/pdf/archives/180301\\_UVSensitivityReview\\_full.pdf](https://www.iuvanews.com/stories/pdf/archives/180301_UVSensitivityReview_full.pdf)
- May J. (2020) UV Measurement in the Disinfection Range 220-310 nm. Nist. Recuperado de: <https://www.nist.gov/system/files/documents/2020/03/23/Panel%20I%20Joe%20May%20presentation.pdf>
- Medina, M. (2004) “Diseño electromecánico de un proceso de Limpieza en Sitio (CIP) para lavado y desinfección de tuberías sanitarias del área de líquidos”. Recuperado de: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/417/INFORME.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Molina, R. & García, O. (2003) Manual de Limpieza y Desinfección Hospitalaria. Comité de Infecciones Intrahospitalarias. Recuperado de: [http://www.ridsso.com/documentos/muro/1868\\_1430765921\\_5547c1615e720.pdf](http://www.ridsso.com/documentos/muro/1868_1430765921_5547c1615e720.pdf)
- Napolitano, N., Mahapatra T. & Tang, W. (2015) The effectiveness of UV-C radiation for facility-wide environmental disinfection to reduce health care-acquired infections. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196655315007579>
- Perez, L., Zurita, I., Pérez, N., Patiño, N. & Calvimonte, O. (2010) Infecciones Intrahospitalarias: Agentes, Manejo Actual y Prevención. Recuperado de: [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1817-74332010000200009&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1817-74332010000200009&script=sci_arttext)

- Renzel, A. (2016) Disinfection with UVC. UV Technik Product Documents. Recuperado de: <https://www.uv-technik.co.uk/assets/Uploads/product-documents/Disinfection-UV-C-Explained2.pdf>
- Rossel, L.; Rossel, A.; Mayhua, F. & Zaman, R. (2020) Radiación ultravioleta-c para desinfección bacteriana (coliformes totales y termotolerantes) en el tratamiento de agua potable. Recuperado de: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2313-29572020000100068&script=sci\\_arttext&tlng=en](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2313-29572020000100068&script=sci_arttext&tlng=en)
- Sánchez, J., Arias, M., Armenta, J. & Salas, D. (2012) Luz ultravioleta germicida y control de microorganismos ambientales en hospitales. Recuperado de: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rcsp/v21n1/art05v21n1.pdf>
- Vicente, A., Pineda, C., Lemoinea, L., Civello, P., Martínez, G. & Chavesa, A. (2005) UV-C treatments reduce decay, retain quality and alleviate chilling injury in pepper. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925521404001656>
- Vidal, J. (2003). Bacterias patógenas y ser humano: Importancia de la Virulencia Bacteriana. Diálogos de ResearchGate. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/257927195\\_Bacterias\\_patogenas\\_y\\_el\\_ser\\_humano\\_La\\_importancia\\_de\\_la\\_virulencia\\_bacteriana](https://www.researchgate.net/publication/257927195_Bacterias_patogenas_y_el_ser_humano_La_importancia_de_la_virulencia_bacteriana)
- Walker, R.; Markillie, L.; Colotelo, A.; Geist, D.; Gay, M.; Woodley, C.; Eppard, M. & Brown, R. (2013) Ultraviolet radiation as disinfection for fish surgical tools. Recuperado de: <https://link.springer.com/article/10.1186/2050-3385-1-4>
- Wekhof A. (2001) Pulsed UV Disintegration (PUVD): a new sterilisation mechanism for packaging and broad medical-hospital applications. Recuperado de: <http://steribeam.com/info/AW-UVcongr2001.pdf>
- Zuñiga, I. & Caro, J. (2019) Importancia de la limpieza y la desinfección en el área hospitalaria para el control de infecciones nosocomiales. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/333149293\\_Importancia\\_de\\_la\\_limpieza\\_y\\_la\\_desinfeccion\\_en\\_el\\_area\\_hospitalaria\\_para\\_el\\_control\\_de\\_infecciones\\_nosocomiales](https://www.researchgate.net/publication/333149293_Importancia_de_la_limpieza_y_la_desinfeccion_en_el_area_hospitalaria_para_el_control_de_infecciones_nosocomiales)