

**ESTRATEGIAS ROBÓTICAS DE DESINFECCIÓN PARA MANEJO DE LA PANDEMIA  
POR COVID-19.**

**Manuela Loaiza Sánchez**

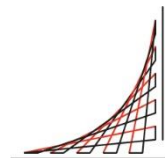
**Trabajo dirigido en Ingeniería Biomédica para  
énfasis en Ingeniería de Rehabilitación**

**Tutor**

**Prof. Dr. Carlos Andrés Cifuentes García**



**Universidad del  
Rosario**



**ESCUELA  
COLOMBIANA  
DE INGENIERÍA  
JULIO GARAVITO**

**UNIVERSIDAD DEL ROSARIO  
ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO  
PROGRAMA DE INGENIERÍA BIOMÉDICA  
BOGOTÁ D.C  
2020**

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo dirigido me ha permitido crecer a nivel profesional y personal asumiendo nuevas responsabilidades y retos que me han llevado a desarrollar y fortalecer capacidades de innovación e investigación, en el cual se ve reflejado el interés y acompañamiento de distintas personas que fueron partícipes del mismo.

Es por esto que agradezco al Centro de Biomecatrónica de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito y el Proyecto Internacional COVIBOT<sup>1</sup> por proporcionarme la oportunidad de participar en un espacio investigativo para contribuir en el beneficio de la población en torno a la nueva pandemia que estamos viviendo. Además, agradezco a todos los profesores de las instituciones involucradas nacional e internacionalmente y a mis compañeros por su tiempo, aportes, opiniones y correcciones que contribuyeron en el beneficio propio y del trabajo.

---

<sup>1</sup> Página oficial del Proyecto Internacional COVIBOT:  
<https://sites.google.com/view/biomtlab/robots/covibot>

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	6
2. OBJETIVOS .....	9
2.1. General.....	9
2.2. Específicos .....	9
3. METODOLOGÍA .....	10
3.1. Problema a solucionar .....	10
3.2. Fases del proyecto .....	10
3.3. Diagrama de Gantt .....	11
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	12
4.1. Intervención propuesta .....	17
4.2. Evaluación del proceso de desinfección. ....	18
4.3. Procedimiento y priorización de las pruebas.....	19
5. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	23
6. CONCLUSIONES .....	24
REFERENCIAS .....	25

## LISTA DE TABLAS

Tabla I. Detalles de área de estudio y período de evaluación de procesos de desinfección por NTD frente a distintos patógenos nosocomiales .....	12
Tabla II. Objetivos y resultados de los mismos estudios de la tabla i frente a procesos de desinfección por NTD de distintos patógenos nosocomiales.....	14

## LISTA DE FIGURAS

Figura. 1 Cronograma de actividades que se siguió durante el período de trabajo. ....	11
Figura. 2 Mapeo de un piso en el bloque I de la Escuela obtenido por el Pioneer. Colaboración del Centro de Biomecatrónica. ....	17
Figura. 3 a) Trayecto del robot móvil para desinfección por piso. b) y c) Rutas del robot para desinfección de un salón. ....	18
Figura. 4 a) Presentación de indicadores de radiación UVc desechables de Intellego Technologies AB, Gothenburg-Sweden. b) Tabla de medición de dosis según el cambio del indicador de radiación UVc desechable de Intellego Technologies AB, Gothenburg-Sweden. Tomadas de Intellego Technologies AB [27]. ....	19
Figura. 5 Diagrama de flujo para configuración de la prueba de desinfección. Estrategia A: se ubica el robot en un solo punto del salón y Estrategia B: el robot se ubica hasta en tres puntos específicos del salón. ....	20
Figura. 6 Diagramas de flujo para etapa de desinfección de área. ....	21

## 1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día se vive una problemática mundial relacionada a un nuevo coronavirus conocido como COVID-19, según la Organización Mundial de la Salud (OMS) en Diciembre de 2019 el municipio de Wuhan en la provincia de Hubei en China reporta un alto número de casos de personas con neumonía de etiología desconocida. A partir de esto, se hace una propagación masiva del virus, llegando a ser una afectación mundial y convirtiéndose en una nueva pandemia, así lo decreto la OMS en Enero de 2020 haciendo un llamado de emergencia global [1, 2]. Para inicios de Septiembre de 2020, la OMS ha reportado 27.873.127 casos confirmados de COVID-19 y 905.426 muertes alrededor del mundo a causa de dicho coronavirus [1].

Al buscar una posible solución o mejora para la calidad de vida de las personas durante esta emergencia global, se le ha abierto la oportunidad a la robótica e inteligencia artificial de surgir exponencialmente; siendo evidenciada en estudios de implementación robótica en: desinfección de espacios y atención asistencial a pacientes y enfermeras con el fin de disminuir el riesgo de contagio [3, 4, 5, 6].

La desinfección de espacios en centros de prestación de servicios de salud como en espacios públicos, es de vital importancia puesto que el COVID-19 se propaga por medio de partículas de polvo que quedan suspendidas en el aire o bien en la superficie de las cosas, siendo un riesgo para las personas que aún no se han contagiado de este [2]. Es por ello que se han implementado métodos de salas automatizadas sin contacto durante la desinfección o en inglés conocido como *no-touch disinfection system* (NTD), ya que estas permiten una desinfección eficaz y fiable de la contaminación superficial del espacio sin necesidad de que una persona realice dicho procedimiento, limitando los métodos de desinfección común [7, 8, 9].

Los métodos de desinfección por NTD han sido utilizados previamente para eliminar bacterias como *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus*, *Acinetobacter baumannii* y *Clostridium*, patógenos nosocomiales presentes en virus de alta propagación resistentes a algunos desinfectantes y antisépticos, que permanecen por períodos prolongados de tiempo en las superficies contaminando el entorno hospitalario [8, 10, 11]. Estos se relacionan con el COVID-19 debido a que son virus de afectación en el sistema respiratorio con características semejantes y son recomendados para combatir este tipo de coronavirus [11]. Para esto se ha hecho uso en mayor parte de desinfección por radiación de luz ultravioleta y sistemas de gases o agentes químicos como el peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) [8, 10, 11].

Se conocen dos métodos utilizados para manejar un sistema de peróxido de hidrógeno [12], uno de ellos es por medio de vaporización (VHP), donde se genera vapor de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> entre un 30% a 35% de concentración por medio de calor y toma un tiempo de proceso aproximado de ocho (8) horas [12, 13]. El segundo, es por medio de aerosoles (aHP), el cual genera entre 5% y 6% de concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en el ambiente por medio de liberación por presión, este proceso toma aproximadamente entre 1.5 y 3 horas [12, 13].

Según estudios realizados para desinfección de salas UCI o habitaciones en hospitales, luego de implementar cualquiera de los dos métodos es necesario permitir la

ventilación del área [14], puesto que el gas queda suspendido en el aire y puede afectar el sistema respiratorio y ocular de las personas. Teniendo en cuenta que lo establecido para eliminar bacterias o virus es necesario 1ppm de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, ambos casos son efectivos ya que cuando se procede con aHP, se obtiene una tasa entre 0,5 y 3 ppm de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; mientras que por VHP hay una tasa entre 0,4 y 1ppm de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> [14, 15].

Por otro lado, estudios realizados en clínicas y hospitales alrededor del mundo aclaran que las bacterias y/o virus tienen una destrucción de enlaces moleculares, inhibiendo la reproducción celular cuando se alcanza una longitud de onda de radiación UV de 254nm aproximadamente [16, 17]. Es por esto, que cuando se realiza NTD por medio de UV se hace uso de lámparas de radiación de luz ultravioleta-C (UVc), ya que estas presentan una longitud de onda entre 200-280nm, teniendo un alcance entre 2 a 3 metros de descontaminación continua. Este método de desinfección se realiza luego de que el paciente abandona el espacio a desinfectar y mediante sistemas autónomos derivados de la robótica [17, 18, 19].

Un estudio realizado en un centro médico de cuidados intensivos en Taipei, en el norte de Taiwan durante el año 2015 y 2016, por medio de una prueba con el equipo "Hyper Light P3" en tres habitaciones de cuidados intensivos (UCI) que habían sido ocupadas por al menos 7 días con pacientes que tenían *Staphylococcus aureus* (MRSA) o *Enterococcus faecium* (VRE), enfermedades nosocomiales. Se concluye que se alcanza hasta un 98% de descontaminación del área, eliminando las bacterias que quedaban suspendidas en el aire u objetos que tenía la habitación, comprobando que este método de NTD es altamente efectivo. El procedimiento se llevaba a cabo de la siguiente forma: un operador ingresaba el equipo a la habitación localizándola en tres áreas distintas y luego por control remoto lo accionaba, activando el proceso de desinfección por radiación de luz UVc para un total de 15 minutos [20].

Otro estudio realizado en hogares para ancianos durante el año 2017 ha revelado que la desinfección de habitaciones y camas por luz UVc disminuye las tasas de infección y hospitalización por neumonía. Este estudio se desarrolló comparando 36 semanas previas del uso de radiación por UVc contra 12 semanas empleando este método, contaban con The Xenex Germ-Zapping Robot, un dispositivo portátil que produce una luz intermitente de alta intensidad, entregada en pulsos de milisegundos, con una longitud de onda entre 200 a 320nm [21].

En el año 2103 en el Reino Unido (UK) se evaluó el dispositivo Tru-D, un dispositivo automatizado para la desinfección de habitaciones que hace uso de radiación ultravioleta-C. Este fue evaluado en una unidad de terapia intensiva y un quirófano, dando un óptimo resultado para la eliminación en alto porcentaje de patógenos nosocomiales como methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA), vancomycin-resistant enterococci (VRE) y multi-resistant acinetobacter (MRA), cabe resaltar que el dispositivo se manejaba por medio de un control remoto y contaba con sensores para optimizar su uso y realizar una desinfección de toda el área [22].

Actualmente, clínicas y hospitales están implementando la desinfección por radiación UVc, pues se ha comprobado que para disminuir el riesgo de contagio por COVID-19 este método de desinfección por NTD es óptimo. Esto se debe a que estudios previos con otro tipo de coronavirus o infecciones nosocomiales ha llegado a reducir hasta un 98%

las partículas del virus que quedan sobre superficies en zonas de riesgo, haciendo uso de robots para su implementación en vista de que las personas no pueden entrar en contacto cuando se efectúa, realizando el procedimiento de forma remota al ser manejado y monitoreado externamente por una persona encargada [21, 23, 24].

A partir de estudios de evaluación de métodos de desinfección NTD por medio de radiación UVc y aspersion de peróxido de hidrógeno, como los explicados anteriormente, se analiza que son métodos complementarios y efectivos en un alto porcentaje de descontaminación de superficies, disminuyendo el riesgo de contagio de virus con afectación nosocomial como lo es el COVID-19. Sin embargo, este presenta un alto riesgo en caso de que por accidente alguna persona se encuentre dentro del área durante el momento de desinfección o que el sistema de UVc se active antes de que la persona encargada de dejar el equipo en el lugar indicado desaloje la habitación. Es por ello que, implementando un sistema de control autónomo, como un robot móvil, se puede disminuir el riesgo ya que el robot se podría desplazar de manera automatizada por las instalaciones y con un sistema integrado de comunicación accedería por su propia cuenta a la habitación infectada.

Finalmente, para dar otra solución a esta problemática de desinfección de espacios durante la pandemia por el COVID-19, de la mano del semillero de rehabilitación y el centro de Biomecánica de la Escuela Colombiana Julio Garavito, a través del proyecto COVIBOT del 2020-2021, se propone implementar un robot automatizado haciendo uso de radiación de luz ultravioleta-C para la desinfección de los espacios de la universidad, haciendo un control monitoreado remotamente durante la desinfección, implementando a su vez sensores de UV y sensores de movimiento para garantizar que no haya personas dentro del espacio que se esté desinfectando.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. General**

1. Analizar las distintas estrategias robóticas actuales que son utilizadas para la desinfección superficial de partículas de COVID-19, determinando así cual es la que presenta mayor efectividad para desarrollar un protocolo de prueba que permita aumentar la bioseguridad para la comunidad universitaria de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito o futuros estudios en clínicas y hospitales.

### **2.2. Específicos**

1. Definir una estrategia de búsqueda que permita encontrar los estudios con mayor relevancia frente a la desinfección de áreas durante la pandemia por COVID-19.
2. Determinar cuál es el método de desinfección por NTD más eficiente para eliminar las partículas de COVID-19 en las superficies.
3. Establecer los requerimientos que se deben cumplir con el método de desinfección seleccionado.
4. Diseñar un protocolo de prueba enfocado en el proceso de desinfección de superficies por medio de NTD y haciendo uso de robótica móvil.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Problema a solucionar

Como se mencionó anteriormente en la actualidad se vive una problemática a nivel mundial relacionada con el virus COVID-19 que lleva a desarrollar métodos de desinfección automatizados que disminuyan el riesgo de contagio del mismo. Teniendo en cuenta esto y la oportunidad de automatizar el proceso de limpieza de espacios y superficies se considera el uso de robótica móvil, llegando así a plantear las siguientes preguntas de investigación.

- ¿Qué métodos de desinfección de espacios son efectivos para eliminar el COVID-19 de las superficies?
- ¿Actualmente se usa robótica para mitigar el contagio de COVID-19 mediante medidas de bioseguridad?

Para ello, se desarrollará el estado del arte pertinente para conocer los estudios realizados frente a patógenos nosocomiales similares al COVID-19 o bien para el mismo virus, de esta forma se tendrán en cuenta los resultados cuantitativos que permitan establecer el método de desinfección más efectivo y con base a este desarrollar un protocolo de prueba para evaluar el alcance y desempeño del proceso de erradicación del virus COVID-19 aumentando la bioseguridad de las personas.

#### 3.2. Fases del proyecto

En primer lugar, se procedió con el planteamiento de la estrategia de búsqueda basada en las preguntas de investigación ya mencionadas. Para ello se hizo uso de la estrategia PICO (Patient or Problem, Intervention, Comparison, Outcome/s) [25] como se muestra a continuación:

- P (Población): Comunidad universitaria de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, teniendo en cuenta estudios en clínicas u hospitales.
- I (Intervenciones): Robótica para desinfección de espacios.
- C (Comparación): Métodos de desinfección utilizados para prevenir el contagio del virus COVID-19.
- O (Salidas o resultados): Cualquier resultado

Teniendo en cuenta lo anterior, se establecen las palabras clave que permiten encontrar los estudios relevantes frente a métodos de desinfección automatizados contra el virus COVID-19, llegando así a establecer las siguientes ecuaciones de búsqueda basadas en la lógica booleana: 1) *“Disinfection” AND “Robots” AND (clinical OR hospitals)* y 2) *“no touch disinfection system” AND (clinical OR hospitals)*. Cabe resaltar que se hizo uso de dos ecuaciones de búsqueda con el fin de obtener la mayor cantidad de información posible y no perder estudios significativos al limitar la búsqueda, pues al tratarse de una investigación acerca de una problemática nueva los resultados son limitados.



#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el estado del arte se encontraron 19 artículos que presentaban estudios de métodos de desinfección automatizados que hacían uso de radiación de luz UVc o aspersion de peróxido de hidrogeno, estos se desarrollaron en clínicas, hospitales u hogares geriátricos. Como se ilustra en la Tabla I y Tabla II, estudios realizados entre el año 2013 y 2020 presentan resultados cualitativos y cuantitativos que rectifican la eficacia de los métodos de desinfección por NTD frente a distintos patógenos nosocomiales que tienen relación con el COVID-19.

*Tabla I.*  
**DETALLES DE ÁREA DE ESTUDIO Y PERÍODO DE EVALUACIÓN DE PROCESOS DE DESINFECCIÓN POR NTD FRENTE A DISTINTOS PATÓGENOS NOSOCOMIALES**

<b>Autores</b>	<b>Método de desinfección por NTD</b>	<b>Área de estudio</b>	<b>Período de evaluación</b>	<b>Patógeno en estudio</b>
Blazejewski et al. [14] (2015)	Desinfección por medio de técnicas de peróxido de hidrógeno	5 salas médicas y quirúrgicas de cuidado intensivos (UCI) contaminadas con organismos multirresistentes (MDRO).	3 meses	GNB 50%, IRAB 29%, MRSA 17%, y Pseudomonas aeruginosa resistente a ceftazidime o imipenem 4%.
Lemmen et al. [15]	Desinfección por medio de técnicas de peróxido de hidrógeno	Superficies porosas y no porosas en un quirófano, específicamente, alféizar derecho e izquierdo de las ventanas, en el centro de la mesa de operaciones y cerca a la puerta.	–	MRSA, VRE y MDR Acinetobacter baumannii.
Casini et al. [17] (2019)	Desinfección por medio radiación UVc.	Áreas clínicas críticas: 5 habitaciones de pacientes, 2 salas de cuidados intensivos (UCI) y 9 salas quirúrgicas.	4 meses	Clostridium difficile, CD infection.

Schaffzin et al. [18] (2020)	Desinfección por medio radiación UVc.	Centro de referencia cuaternario pediátrico con 449 camas.	6 meses	Organismos multidrogo resistentes o infecciones Clostridioides difficile.
Zeber et al. [19] (2019)	Desinfección por medio radiación UVc.	Centro de cuidados intensivos para veteranos de 120 camas.	–	Colonias de bacterias aerobicas (ABC) y MRSA.
Yang et al. [20] (2017)	Desinfección por medio radiación UVc.	Centro médico de cuidados intensivos con 2400 camas.	6 meses	MDR- Pseudomonas aeruginosa, MDR- Acinetobacter baumannii, MRSA, VRE, Mycobacterium abscessus y Aspergillus fumigatus.
Kovach et al. [21] (2017)	Desinfección por medio radiación UVc.	Centro de cuidado a largo plazo de 160 camas.	6 meses de estudio previo sin método NTD y 12 meses posteriores implementando UVc.	MRSA
Mhida et al. [22] (2013)	Desinfección por medio radiación UVc.	6 salas lateral de unidad de terapia intensiva, un quirófano y una sala de aislamiento.	–	MRSA, MRA y VRE.
Bedell et al. [23] (2020)	Desinfección por medio radiación UVc.	Radiación UV a las muestras contenidas en placas de Petri con una distancia de 1,22m.	–	MERS-CoV

*Tabla II.*  
**OBJETIVOS Y RESULTADOS DE LOS MISMOS ESTUDIOS DE LA TABLA I FRENTE A PROCESOS DE DESINFECCIÓN POR NTD DE DISTINTOS PATÓGENOS NOSOCOMIALES**

<b>Autores</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Resultados</b>	<b>Resultados estadísticos</b>
Blazejewski et al. [14] (2015)	Determinar la eficacia de las técnicas de peróxido de hidrógeno en la desinfección de salas de UCI contaminadas con MDRO después del alta del paciente. Y luego comparar la eficiencia de un vaporizador y un aerosolizador de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .	Es más eficiente una limpieza terminal de rutina seguida de tratamiento con H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , que solo hacer una rutina de limpieza terminal para la desinfección de las habitaciones contaminadas. Y no se encontraron diferencias significativas entre los dos métodos de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .	Las tecnologías de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> fueron eficientes para la descontaminación ambiental de organismos MDRO (6% de las habitaciones contaminadas con MDRO, donde inicialmente se contaminaron el 8% de habitaciones, presentaron alta descontaminación al realizar limpieza terminal (T1) versus 0.5% luego de desinfección por H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (T2), p = 0.004).
Lemmen et al. [15]	Evaluar la eficacia del vapor de peróxido de hidrógeno (VPH) para eliminar patógenos nosocomiales de superficies en quirófanos.	Concluyen que el VPH es un método eficaz para descontaminar áreas clínicas contaminadas con bacterias de esporas y organismos MDR tanto en superficies porosas y no porosas sin presentar diferencias relevantes.	El VPH logró una reducción > 6 log <sub>10</sub> en <i>G. stearothermophilus</i> de esporas BI y una reducción > 4-5 log <sub>10</sub> en MRSA, VRE y MDR <i>A. baumannii</i> que se secaron en soportes de acero inoxidable y algodón que se encontraban ubicados en varios sitios de un quirófano.
Casini et al. [17] (2019)	Evaluar la efectividad de un dispositivo emisor de UVc para reducir carga bacteriana ambiental y presencia de patógenos a comparación del protocolo operativo estándar de desinfección actual.	Se obtuvieron resultados efectivos para la reducción de fallas de higiene y control de contaminación ambiental por microorganismos, implementando el procedimiento de limpieza estándar y	En conclusión, el 100% (25/25) de las muestras de superficie cumplieron con la ausencia de microorganismos de alta preocupación después del tratamiento Pulsed-UVC.

		desinfección por PXUVC.	
Schaffzin et al. [18] (2020)	Desinfección en primer lugar de todas las habitaciones de alta prioridad y en segundo lugar todas las salas de aislamiento luego de darse de alta.	Se disminuye la adquisición de infecciones en el hospital, haciendo uso de 2 robots LightStrikeUV-C (Xenex, San Antonio, TX).	Las infecciones adquiridas en el hospital disminuyeron un 16.2% al seguir el programa de desinfección por medio de radiación UV-C.
Zeber et al. [19] (2019)	Estimar el efecto de los rayos UV en comparación con la desinfección manual estándar y si el resultado persiste después de realizar un ajuste por medio de un desinfectante o limpiador por el personal encargado.	Se evidencia una reducción adicional de carga biológica de bacterias aeróbicas, al complementar la limpieza manual con rayos UV. La suplementación de rayos UV se relaciona con la carga biológica que queda luego de realizar la limpieza estándar.	Para ABC, los recuentos medios estimados por el modelo fueron un 56% (48% -63%) más bajos para desinfección postmanual + UV en comparación con la limpieza manual sola, y para MRSA fueron 93% (62% -99%) más bajas para la limpieza postmanual + UV en comparación con la limpieza manual sola.
Yang et al. [20] (2017)	Evaluar la efectividad del Hyper Light P3 en reducción de los aislados clínicos resistentes a fármacos.	El robot de desinfección Hyper Light fue eficaz para eliminar distintas bacterias, microbacterias y hongos multirresistentes encontrados en ambiente hospitalario.	Se dio una reducción significativa de la mediana del número total de colonias de bacterias y se demostró que el recuento después de la irradiación UV-C de 15 min, luego des de 24 h de incubación (35 UFC frente a 0 UFC, $p=0,0005$ ) y con 48 h de incubación (165 UFC frente a 0 UFC, $p <0,0001$ ) de las muestras respectivamente.
Kovach et al. [21] (2017)	Examinar si la desinfección ultravioleta se asocia a recuentos microbianos en	El estudio evidencia que el dispositivo de desinfección ultravioleta de xenón pulsado es altamente	Después de la limpieza desinfectante, 6 de 90 muestras (7,1%) dieron positivo para un bacilo grampositivo, y

	superficies de alto contacto y tasas de infecciones adquiridas en hogares de ancianos en todo el establecimiento y hospitalización.	eficaz para disminuir los microbios de superficies, tasas de infección y hospitalización por ellas.	después de la desinfección ultravioleta 4 de las 90 muestras (4,4%) fueron positivos.
Mhida et al. [22] (2013)	Evaluar la efectividad del equipo Tru-D para la desinfección de superficies con posible presencia de patógenos nosocomiales.	Tru-D eliminó todos los organismos del medio ambiente, incluyendo patógenos nosocomiales. Siendo una tecnología alternativa práctica de sistema de desinfección.	Se obtuvo la mayor eficacia en la línea de visión y en el ajuste de 22.000 uWs/cm <sup>2</sup> contra todos los patógenos (el promedio de la reducción log <sub>10</sub> : >= 4; Reducción del 99,99%).
Bedell et al. [23] (2020)	Evaluar la eficacia de los yaros ultravioleta-c para eliminar muestras secas de MHV-A59 y MERS-CoV.	La emisión continua de 10 minutos de UVc fue 99.99% efectiva contra el MHV-A59, MERSCoV y SARS-CoV. Además de ello cuando se emitía UVc por 5 minutos contra el MERS-CoV se obtenía esa misma efectividad.	Para MERS-CoV, un tiempo de exposición UV-C de solo 5 minutos resultó en niveles de virus indetectables que permanecieron indetectables, después 30 minutos de exposición total se presentó una reducción de 5,9 log <sub>10</sub> . Finalmente, el sistema de desinfección continuo de UV-C de múltiples emisores fue > 99,999% efectivo contra MHV-A59, un análogo de ratón de MERS-CoV, y SARS-CoV en 10 minutos.

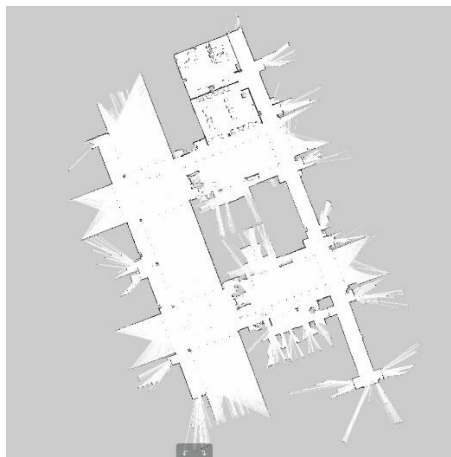
A partir del análisis estadístico que presentaron los estudios mencionados, se evidencia que la desinfección de espacios por radiación UVc presenta una reducción de partículas de distintos patógenos nosocomiales e incluso MERS-CoV y SARS-CoV hasta de un 99.99% [14-23], siendo un método confiable y altamente efectivo para disminuir el riesgo de contagio por COVID-19 en espacios cerrados. Además de esto se consideran la cantidad de estudios experimentales reportados en las bases de datos científicas, teniendo así mayor cantidad de evidencia frente a métodos NTD por radiación UVc.

Por lo tanto, se procede con el planteamiento y desarrollo de un protocolo de prueba experimental contando con un sistema de desinfección de espacios autónomo haciendo uso de un robot móvil y lámparas de radiación UVc, el cual tiene como fin identificar el



desempeño y/o alcance de desinfección por radiación UVc, proporcionar las rutas que seguirá el robot móvil y determinar la prioridad de espacios para llevar a cabo el procedimiento teniendo en cuenta la presencialidad de la comunidad de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito durante el tiempo de pandemia.

Cabe resaltar que en este caso el robot móvil a utilizar será el Pioneer del proyecto Ágora desarrollado en el centro de biomecatrónica, este cuenta con un sistema de mapeo por medio de láser (Figura. 2) el cual permite conocer el área a desinfectar. Por otro lado, se disponen de lámparas de radiación UVc con longitud de onda de 254nm + 185nm, con un área de cobertura máxima entre 30m<sup>2</sup> y 40m<sup>2</sup> y operación por control remoto, sensores de movimiento y temporizador.



*Figura. 2 Mapeo de un piso en el bloque I de la Escuela obtenido por el Pioneer. Colaboración del Centro de Biomecatrónica.*

#### **4.1. Intervención propuesta**

Para este estudio se proponen tres rutas posibles de desinfección, ilustradas en la Figura. 3, dependiendo de los horarios de clase, tiempo del procedimiento y espacio a desinfectar (ya sea un salón o un piso completo). La primera de estas, la cual se muestra en la Figura. 3a, será seleccionada en el momento de realizar la desinfección de un piso sin intervenir en los salones de clase antes y después de desalojar en su totalidad la institución para evitar el riesgo de irradiar a una persona causando lesiones en su cuerpo si se encuentra en el área a desinfectar.

Por el contrario, si se va a desinfectar un salón se tienen las estrategias que se presentan en las Figura. 3b y Figura. 3c, la selección de cada una de ellas depende del área total del salón considerando la cobertura máxima de radiación que tiene la lámpara. En cada caso se ubicará el robot en uno o más puntos del salón de forma estratégica, en el lugar que se sitúe se activará el proceso de radiación por UVc durante diez (10) minutos consecutivos, llegando a completar un procedimiento con duración total entre diez (10) y treinta (30) minutos. El tiempo de desinfección fue definido según los métodos implementados en las distintas pruebas que se han realizado en diversos estudios

experimentales; por ejemplo, estudios realizados para erradicar partículas de MRSA, VRE o patógenos drogo resistentes en las superficies de las cosas en habitaciones de cuidados intensivos u hogares de ancianos ubicaban las lámparas durante cinco (5) minutos cada vez que se encendían, esto lo repetían tres veces por habitación cambiando de lugar el equipo [20, 21]. Sin embargo, en el caso del protocolo de prueba planteado se duplica el tiempo teniendo en cuenta la ficha técnica de las lámparas a utilizar y el área de cobertura que proporciona.

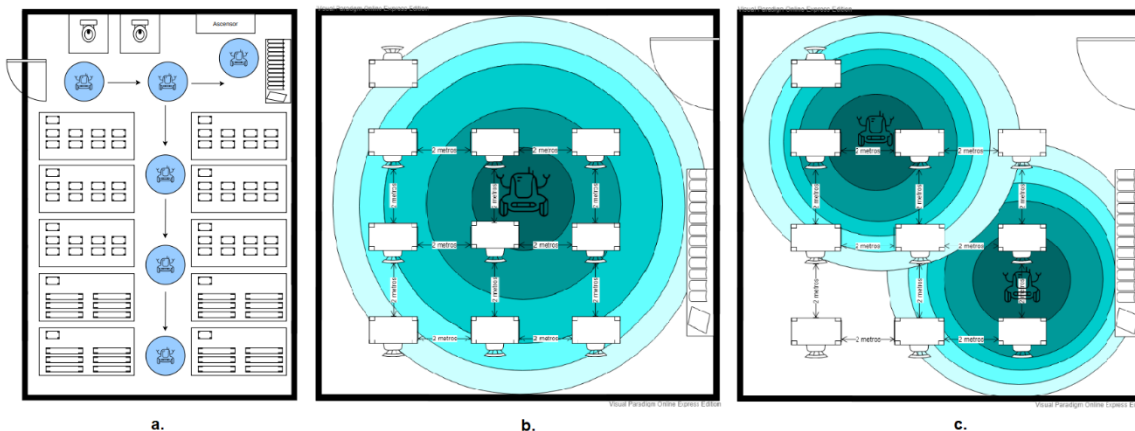


Figura. 3 a) Trayecto del robot móvil para desinfección por piso. b) y c) Rutas del robot para desinfección de un salón.

#### 4.2. Evaluación del proceso de desinfección.

Para evaluar el alcance de desinfección en las superficies se procede a utilizar herramientas independientes de pruebas químicas, esto debido a que ya está comprobado científicamente que la radiación por UVc erradica las partículas de COVID-19 de áreas y superficies [9-11]. De esta forma se proponen los siguientes dos métodos de evaluación:

##### 1. Medición de radiación UVc por luxómetros:

Los luxómetros son instrumentos de medición de luz en el ambiente, que cuentan con una célula fotoeléctrica que capta la luz ultravioleta y la convierte en pulsos eléctricos [26]. Permitiendo así comprobar la longitud de onda que es emitida por las lámparas, dando resultados más exactos de la radiación UVc que se está propagando en el área y verificando así que sea de 254nm aproximadamente. Dichos dispositivos se ubicarán en las paredes de cada área y se tendrá un control en tiempo real por medio de las cámaras que serán incorporadas en el robot móvil.

##### 2. Medición de dosis de radiación UVc por indicadores desechables:

Este método es sugerido para pruebas futuras fuera de la universidad, ya que dichos indicadores desechables están disponibles únicamente por importación y su costo es

considerable; como es en el caso de los indicadores fabricados por Intellego Technologies AB en Gothenburg-Sweden (Figura. 4a) los cuales presentan un cambio de color según la dosis de radiación UVC como se muestra en la Figura. 4b, específicamente para dosis de 25mJ/cm<sup>2</sup>, 50mJ/cm<sup>2</sup>, 75mJ/cm<sup>2</sup> y 100mJ/cm<sup>2</sup> [27]. Cabe resaltar que la dosis de radiación UVC mínima requerida para eliminar las partículas de COVID-19 es de 22mJ/cm<sup>2</sup> aproximadamente.

Sin embargo, se contempla su uso debido a su efectividad y los resultados que ha proporcionado en distintos estudios, siendo una técnica reactiva de fotoindicadores y pigmento por cambios de pH en el ambiente [12, 28].

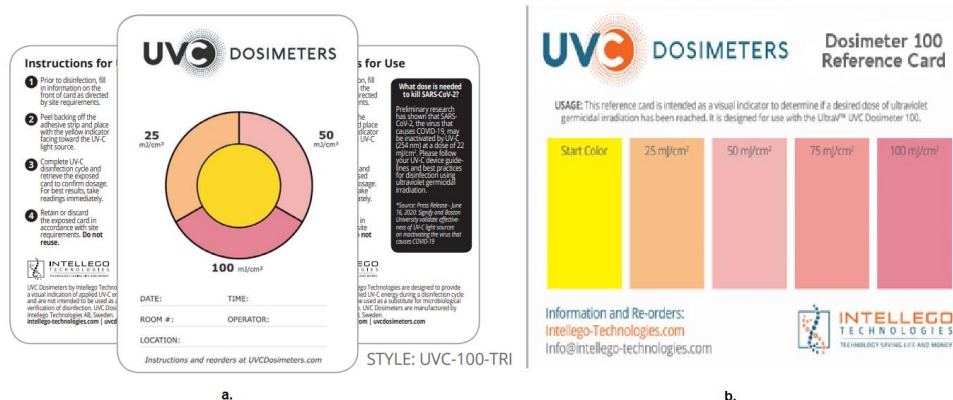


Figura. 4 a) Presentación de indicadores de radiación UVC desechables de Intellego Technologies AB, Gothenburg-Sweden. b) Tabla de medición de dosis según el cambio del indicador de radiación UVC desechable de Intellego Technologies AB, Gothenburg-Sweden. Tomadas de Intellego Technologies AB [27].

De este modo, los indicadores se pegarán en las paredes de los salones y pisos a desinfectar, teniendo un monitoreo en tiempo real de su cambio de color por medio de las cámaras incorporadas en el Pioneer o bien se observará el cambio de color que se obtuvo al finalizar el procedimiento al ser extraído por una persona. Finalmente, estos serán reemplazados por unos nuevos cada vez que se realice un proceso de desinfección.

#### 4.3. Procedimiento y priorización de las pruebas.

En primer lugar, se tendrán en cuenta las siguientes variables: tiempo de desinfección, longitud de onda emitida por las lámparas, dosis de radiación UVC, velocidad del robot móvil, hora de inicio/fin de la prueba, ruta seleccionada para llevar a cabo la desinfección del área intervenida y salón o piso desinfectado.

Es así como se define el procedimiento para cada prueba, la cual se divide en las siguientes tres etapas:

## 1. Configuración de la prueba

Como se muestra en el diagrama de flujo de la Figura. 5, la selección del área a desinfectar depende de la prioridad que se da a aquellos salones que se encuentran desocupados y que tengan clase en la siguiente franja según los horarios de clase. Es así como según el tiempo que se tenga para llevar a cabo el proceso de desinfección se selecciona la estrategia que seguirá el robot y finalmente se guarda el registro de la ruta seleccionada. Permitiendo así tener un control de los salones y pisos desinfectados, el tiempo que durará el proceso y la ruta seleccionada.

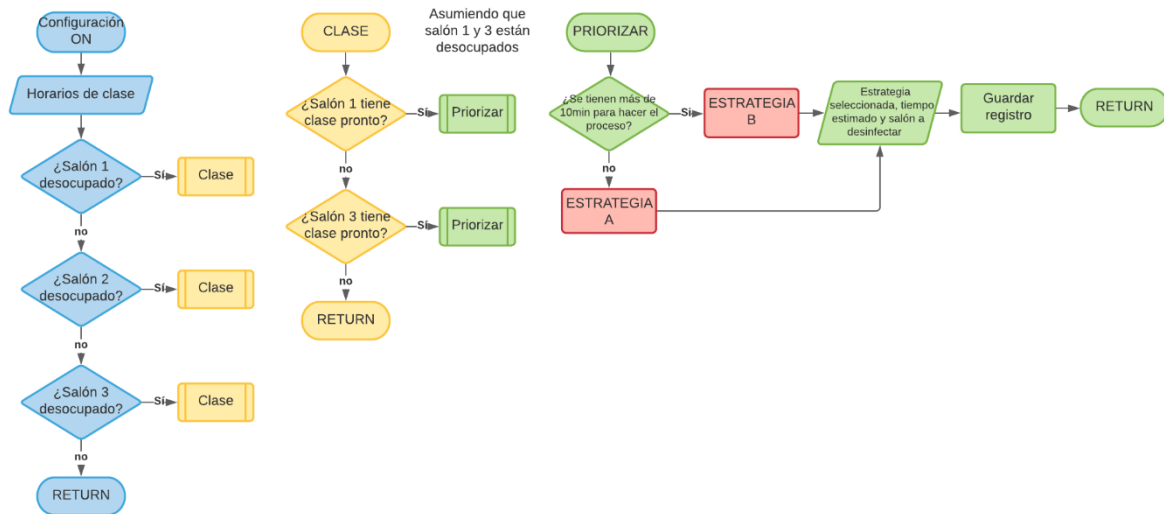


Figura. 5 Diagrama de flujo para configuración de la prueba de desinfección. Estrategia A: se ubica el robot en un solo punto del salón y Estrategia B: el robot se ubica hasta en tres puntos específicos del salón.

## 2. Desinfección por área

Como se muestra en el diagrama de flujo de la Figura. 6, luego de realizar la configuración de la prueba se procede con la desinfección del área.

Primero se realiza el mapeo del área completa con el sistema láser del Pioneer para así poder establecer los puntos en donde se activarán las lámparas de radiación UVc, luego el robot ingresa al área y verifica que todas las puertas y ventanas se encuentren cerradas y que el espacio no cuente con personas en su interior por medio de las cámaras que lleva el robot. Posterior a ello, se inicia la desinfección, ubicándose el robot y activando las lámparas, además se guarda en registro la hora de inicio de la prueba. Finalmente, una vez se termine el proceso de desinfección se desactivan las lámparas, el robot sale del área y se guarda la hora en que sale el robot del salón.

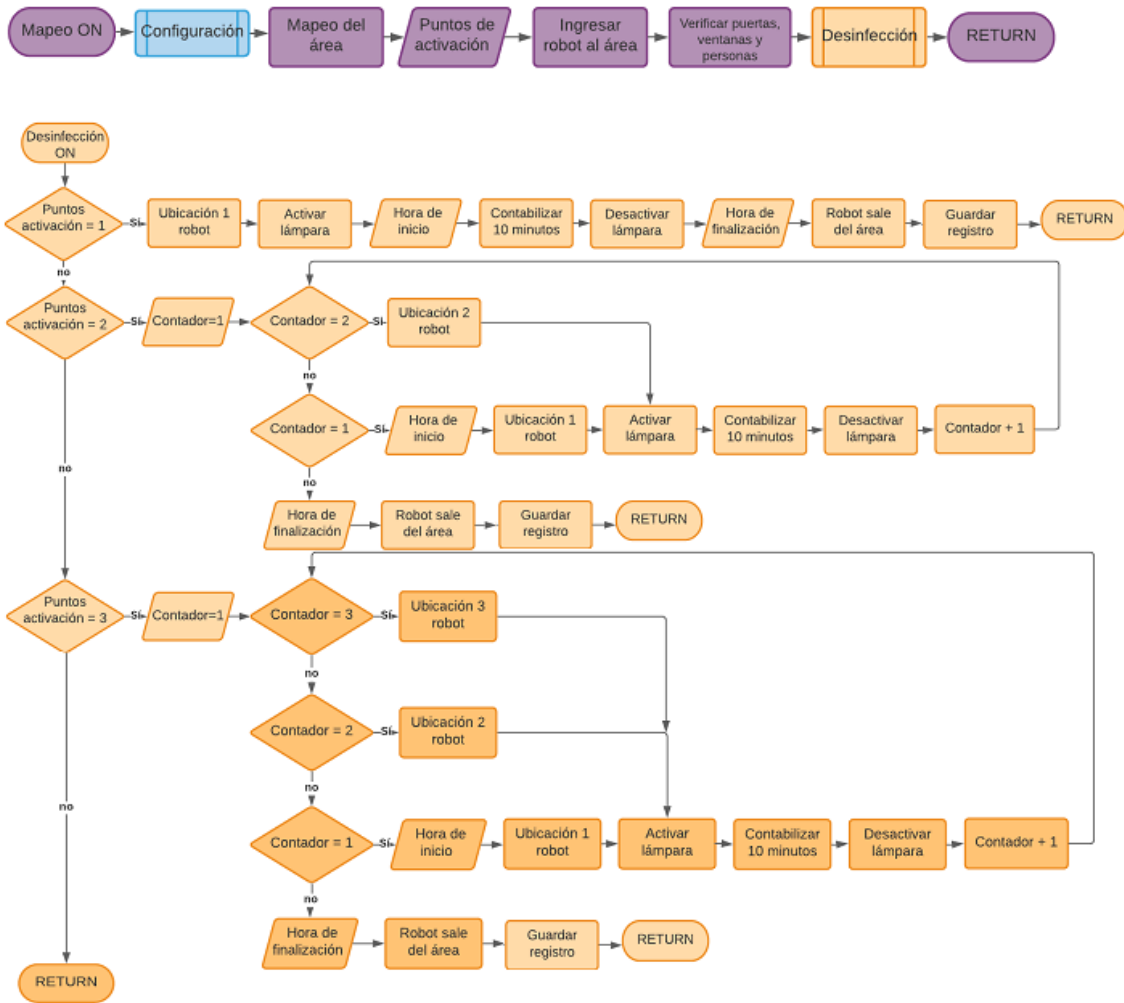


Figura. 6 Diagramas de flujo para etapa de desinfección de área.

### 3. Evaluación del alcance de desinfección por radiación UVc

Como se mencionó anteriormente, uno de los objetivos de este protocolo de prueba es evaluar el alcance de desinfección que se tiene con las lámparas de radiación UVc en superficies y espacios cerrados con posible contagio de COVID-19. Es por ello que en esta última de etapa del proceso se propone valorar el método de desinfección con las distintas herramientas explicadas en el inciso 4.2 del documento presente.

En caso de evaluar la radiación emitida por medio de luxómetros se iniciará el proceso una vez se inicie con la desinfección, es decir, se hará la respectiva evaluación durante la radiación UVc. De esta forma, por medio de las cámaras incorporadas en el robot se verifica que la longitud de onda que emite la lámpara de luz UVc sea como mínimo de 254nm, este valor se registra y se guarda.

Por el contrario, si se procede a evaluar el alcance de desinfección por medio de indicadores desechables, se podrá proceder de dos formas distintas. La primera verificando en tiempo real por medio de las cámaras del robot los cambios de color de los papeles según la dosis medida o bien cuando termine el proceso de desinfección acceder al área, retirar los papeles y medir la dosis alcanzada. Para ambos casos, se tendrá un registro de las mediciones.

Entre tanto en ambas ocasiones la evaluación dependerá de una persona encargada de tomar o verificar las mediciones ya sea de la longitud de onda o de la dosis de radiación, siendo apoyado por herramientas de medición ya utilizadas en otros estudios. Esto es considerado con el fin de tener resultados precisos y bajo el consentimiento de una persona.

## **5. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS**

Para trabajos futuros se espera poder realizar pruebas físicas dentro de la institución con el protocolo de prueba planteado y con una visión a largo plazo se plantea la posibilidad de realizar pruebas en clínicas, hospitales u otros. Cabe resaltar que el protocolo planteado tiene una fundamentación teórica hasta el año 2020, año en el cual la pandemia aún era una novedad, por consiguiente se recomienda para futuras pruebas tener en cuenta nuevas estrategias o tecnologías desarrolladas que puedan complementar el procedimiento de desinfección sugerido.

Además de esto, en el momento en que se realicen pruebas en otras instituciones que presten servicios de salud se debe tener en cuenta que estas siempre se encuentran habitadas por personas por lo tanto se recomienda tener mayor precaución frente a las estrategias de priorización para acudir al proceso de desinfección.

## 6. CONCLUSIONES

Gracias a estudios previos contra patógenos nosocomiales similares al COVID-19 se encontró que los métodos de desinfección automatizados o NTD son altamente efectivos para eliminar partículas del mismo sobre las superficies. Dentro de los métodos encontrados se tiene la aspersion o vaporización de peróxido de hidrogeno presentando hasta un 80% de efectividad, asimismo se tiene la desinfección de espacios por medio de radiación UVc la cual presenta una efectividad mayor al 90% y frente a casos directos contra el MERSCoV y SARS-CoV se evidencia hasta un 99.99% de efectividad.

Teniendo en cuenta las cifras anteriores, la radiación UVc es un método altamente efectivo el cual no ha presentado riesgos para las personas que luego ingresen al área limpia. Por el contrario, la aspersion o vaporización de peróxido de hidrógeno ha generado molestias en los ojos y sistema respiratorio de las personas que entran inmediatamente al área desinfectada, resultando en una prolongación del proceso con el fin de evitar afectación en el ser humano.

Finalmente, a partir de las estrategias encontradas se procede con el planteamiento de un protocolo de prueba experimental para la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, en este se propone el procedimiento a seguir para desinfectar salones, laboratorios o pisos completos de las instalaciones de forma automatizada haciendo uso de un robot móvil y lámparas de radiación UVc. Dentro del mismo se especifican las variables a utilizar, la configuración de la prueba, la priorización de salones o áreas a desinfectar según los horarios de clase, los distintos métodos que se pueden utilizar para evaluar el alcance de desinfección y las estrategias de ubicación que seguirá el robot.



## REFERENCIAS

- [1] Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud. “Actualización Epidemiológica: Nuevo coronavirus (COVID-19)”, 2020.
- [2] S. Fong, N. Dey, and J. Chaki, “An Introduction to COVID-19”, *Artificial Intelligence for Coronavirus Outbreak*, pp. 1–22, 2020.
- [3] A. Begic, “Application of Service Robots for Disinfection in Medical Institutions”, *Advanced Technologies, Systems, and Applications II: Proceedings of the International Symposium on Innovative and Interdisciplinary Applications of Advanced Technologies (IAT)*, vol. 28, pp. 1056– 1065, 2017.
- [4] S. Fong, N. Dey, and J. Chaki, “AI-Enabled Technologies that Fight the Coronavirus Outbreak”, *Artificial Intelligence for Coronavirus Outbreak*, pp. 23–45, 2020.
- [5] Z. Khan, A. Siddique, and C. Lee, “Robotics Utilization for Healthcare Digitization in Global COVID-19 Management”, *International journal of environmental research and public health*, vol. 17, n. 11, 2020.
- [6] Q. Ye, J. Zhou, and H. Wu, “Using Information Technology to Manage the COVID-19 Pandemic: Development of a Technical Framework Based on Practical Experience in China”, *JMIR medical informatics*, vol. 8, n.6, e19515, 2020.
- [7] J. Otter, S. Yezli, F. Barbut, and T. Perl, “An overview of automated room disinfection systems: When to use them and how to choose them”, *Decontamination in Hospitals and Healthcare*, pp. 323–369, 2020.
- [8] J. Otter, S. Yezli, T. Perl, F. Barbut, and G. French, “The role of ‘no-touch automated room disinfection systems in infection prevention and control”, *Journal of Hospital Infection*, vol. 83, n.1, pp.1–13, 2013.
- [9] J. Otter, S. Yezli, T. Perl, F. Barbut, and G. French, “A guide to no-touch automated room disinfection (NTD) systems”, *Decontamination in Hospitals and Healthcare*, pp. 413–460, 2014.
- [10] C. Rock, B. Small, K. Thom, and For the C D C Prevention Epicenters Program. “Innovative Methods of Hospital Disinfection in Prevention of Healthcare Associated Infections”, *Current Treatment Options in Infectious Diseases*, vol. 10, n. 1, pp. 65–77, 2018.
- [11] P. Tarka and A. Nitsch-Osuch, “No-Touch Automated Disinfection System for Decontamination of Surfaces in Hospitals”, *International journal of environmental research and public health*, vol. 17, n.14, pp. 5131, 2020.
- [12] D. Weber, W. Rutala, D. Anderson, L. Chen, E. Sickbert-Bennett, and J. Boyce, “Effectiveness of ultraviolet devices and hydrogen peroxide systems for terminal room decontamination: Focus on clinical trials”, *American journal of infection control*, vol. 44, n. 5, pp. e77–e84, 2016.
- [13] D. Weber, H. Kanamori, and W. Rutala, “‘No touch’ technologies for environmental decontamination: focus on ultraviolet devices and hydrogen peroxide systems”, vol. 29, n. 4, 2016.
- [14] C. Blazejewski, F. Wallet, A. Rouze, R. Guern, S. Ponthieux, J. Salleron, and S. Nseir, “Efficiency of hydrogen peroxide in improving disinfection of ICU rooms”, *Critical care*, vol. 19, n. 1, pp. 30, 2015.
- [15] S. Lemmen, S. Scheithauer, H. Hafner, S. Yezli, M. Mohr, and J. Otter, “Evaluation of hydrogen peroxide vapor for the inactivation of nosocomial pathogens on porous and nonporous surfaces”, *AJIC: American Journal of Infection Control*, vol. 43, n. 1, pp. 82– 85, 2015.

- [16] M. Spencer, M. Vignari, E. Bryce, H. Johnson, L. Fauerbach, and D. Graham, "A model for choosing an automated ultraviolet-C disinfection system and building a case for the C-suite: Two case reports", *AJIC: American Journal of Infection Control*, vol. 45, n. 3, pp. 288–292, 2017.
- [17] B. Casini, B. Tuvo, M. Cristina, A. Spagnolo, M. Totaro, A. Baggiani, and G. Privitera, "Evaluation of an Ultraviolet C (UVC) Light-Emitting Device for Disinfection of High Touch Surfaces in Hospital Critical Areas", *International journal of environmental research and public health*, vol. 16, n. 19, pp. 3572, 2019.
- [18] J. Schaffzin, A. Wilhite, Z. Li, D. Finney, A. Ankrum, and R. Moore, "Maximizing efficiency in a high occupancy setting to utilize ultraviolet disinfection for isolation rooms", *AJIC: American Journal of Infection Control*, vol. 48, n. 8, pp. 903–909, 2020.
- [19] J. Zeber, J. Coppin, F. Villamaria, M. Williams, P. Chatterjee, H. Choi, L. Copeland, and C. Jinadatha, "Use of ultraviolet irradiation in addition to commonly used hospital disinfectants or cleaners further reduces the bioburden on high-touch surfaces", *Open Forum Infectious Diseases*, vol. 6, n. 12, 2019.
- [20] JH. Yang, UI. Wu, HM. Tai, and WH. Sheng, "Effectiveness of an ultraviolet-C disinfection system for reduction of healthcare-associated pathogens", *Journal of Microbiology, Immunology and Infection*, vol. 52, n. 3, pp. 487-493, 2019.
- [21] C. Kovach, Y. Taneli, T. Neiman, E. Dyer, A. Arzaga, and S. Kelber, "Evaluation of an ultraviolet room disinfection protocol to decrease nursing home microbial burden, infection and hospitalization rates", *BMC infectious diseases*, vol. 17, n. 1, pp. 186, 2017.
- [22] N. Mahida, N. Vaughan, and T. Boswell, "First UK evaluation of an automated ultraviolet-C room decontamination device (Tru-DTM)", *Journal of Hospital Infection*, vol. 84, n. 4, pp. 332–335, 2013.
- [23] K. Bedell, A. Buchaklian, and S. Perlman, "Efficacy of an Automated Multiple Emitter Whole-Room Ultraviolet-C Disinfection System Against Coronaviruses MHV and MERS-CoV", *Infection control and hospital epidemiology*, vol. 37, n. 5, pp. 598–599, 2016.
- [24] D. Mackenzie, "Ultraviolet Light Fights New Virus", *Engineering*, vol. 6, n. 8, pp. 851–853, 2020.
- [25] A. Akobeng, "Principles of evidence based medicine", *Arch Dis Child*, vol. 90, pp. 837–840, 2005.
- [26] Proteger I.P.S, "Luxómetro como Funciona".
- [27] Intellego Technologies, "UVC Dosimeter".
- [28] M. Lindblad, E. Tano, C. Lindahl and F. Huss, "Ultraviolet-C decontamination of a hospital room: Amount of UV light needed", *Burns*, vol. 46, n. 4, pp. 842-849, 2020.