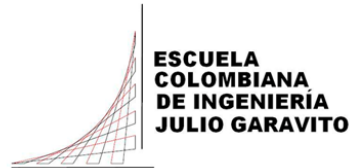


**Desarrollo de un Sistema de Monitoreo y  
Planificación de Procesos de Desinfección para  
Ambientes COVID-19**

**Estudiante  
David Camilo Otálora Riaño**

**Trabajo Dirigido**

**Tutor  
Prof. Dr. Carlos Andrés Cifuentes García  
Cotutor  
Prof. Dra. Márcela Cristina Múnica Ramírez**



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

## Resumen

El retorno a las actividades en entornos de educación, implica una rigurosa estrategia de desinfección y vigilancia de ambientes interiores, en pro de disminuir la tasa de propagación del virus del Sars-CoV2 (Covid-19); la importancia de erradicación del patógeno en superficies implica el ordenamiento de estrategias concisas sobre la desinfección de estos espacios en que las personas transitan continuamente, el presente trabajo de grado propone el establecimiento de un sistema de monitorización y planificación de procesos de desinfección que permita evaluar el estado del ambiente y propenda a la generación de alertas sobre eventos que inciden con la salud de las personas allí presente, como la irradiación del método de desinfección en las personas, aglomeración en entornos cerrados o ingreso en zonas no esterilizadas; por lo cual este sistema debe permitir establecer comunicación con un robot de desinfección, proyecto actualmente en desarrollo en la *Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito*, para que ejecute un plan de navegación y permita gestionar y mantener las peticiones de desinfección, velando por un ambiente seguro para las personas que interactúan allí.

Este proceso de elaboración del sistema se centrará en tres etapas de desarrollo, elaboración de un sistema de monitoreo capaz de adquirir información acerca de la ejecución de procesos de desinfección y adquiera la información del salón de clases u oficinas, como estado de la puerta y conteo de personas, para su reporte; adicional se evaluará una estrategia de desinfección demarcada por trayectos característicos que permitirán irradiar la zona con el método desinfectante, velando por propiciar un ambiente bajo las normas de bioseguridad en la institución; adicional a ello, y en pro de evaluar el sistema, se desarrolla un entornos de simulación que emule el comportamiento del robot, comunicación entre sistemas y métodos de desinfección permitiendo obtener una visualización del desenvolvimiento del sistema así como la posibilidad de gestionar su paso a un entorno real en el que se puede aplicar la tecnología propuesta.

Finalmente se obtiene resultados del funcionamiento de cada esquema propuesto, así como la evaluación de métricas para la evaluación de los diferentes procesos llevados a cabo en el entorno de simulación, que representa espacios interiores en la *Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito*, validando tiempos y gestión de información para favorecer la ejecución de tareas de desinfección, obteniendo indicadores como tiempo promedio de desinfección de una habitación, de 3.8 minutos, así como tiempo que se requiere para generar el evento de manera virtual, de 1.78 milisegundos; este sistema logra aplicar la comunicación entre entidades para favorecer la monitorización y planificación de procesos de desinfección en ambientes simulados, caracterizados por la distribución de habitaciones emulando una institución educativa, evidenciando el potencial que posee para aplicarse en una situación o caso de estudio físico, ya que cumple íntegramente los procesos que se le programan.

## Reconocimientos

Doy gracias a Dios por la vida, por el camino que me ha permitido recorrer, por brindarme la oportunidad de esta opción de grado y por rodearme de las personas que están a mi lado y me ayudan a salir adelante.

Agradezco a la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito y a la Universidad del Rosario por instruirme en conocimientos y valores, formándome integralmente, además de otorgarme oportunidades y experiencias valiosas que aplicaré en mi vida profesional y personal.

Expresar mi agradecimiento con mi tutor, el ingeniero Carlos Andrés Cifuentes García, y mi cotutora, la ingeniera Marcela Cristina Múnera Ramírez, que me permitieron ser parte de este proyecto, me acompañaron en su desarrollo y fueron parte fundamental para llegar hasta este punto. A todos los integrantes del proyecto COVIBOT, financiado por la Real Academia de Ingeniería del Reino Unido (EXPP2021\1\183), que por medio de la colaboración en equipo, me permitieron aprender de sus experiencias; haciendo una mención especial a los ingenieros Daniel Alejandro Gomez y Sergio David Sierra, quienes me respaldaron a lo largo de este proyecto y me compartieron sus conocimientos para la aplicación en este desarrollo tecnológico; a mis compañeros Manuela Loaiza y Carlos Alberto Cruz, quienes siempre estuvieron dispuestos a colaborar, con actitud generosa.

Quiero agradecer a mi familia, que son el motor principal de mi vida y cuento con todo su apoyo y amor, por ayudarme a mantener la calma en los momentos difíciles y permitirme ser quien soy.

# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>10</b>
1.1. Motivación	10
1.1.1. Protocolos de desinfección para ambientes interiores	11
1.1.2. Tecnificación de procesos en el sector salud	12
1.2. Proyecto COVIBOT	13
1.3. Objetivos del proyecto	15
1.3.1. Objetivo general	15
1.3.2. Objetivos específicos	16
1.3.3. Contribuciones	16
1.3.4. Organización del documento	16
<b>2. Estado del Arte</b>	<b>18</b>
2.1. Método de revisión de literatura	18
2.2. Tecnologías aplicadas a la monitorización	21
2.3. Monitorización de ambientes	24
2.3.1. Monitorización de viviendas o residencias	25
2.3.2. Monitorización de otros entornos	26
2.4. Trabajos relacionados - <i>Smart rooms</i>	27
2.5. Métodos de desinfección en ambientes interiores	29
<b>3. Metodología</b>	<b>34</b>
3.1. Estrategias de desarrollo del módulo para habitaciones inteligentes	34
3.2. Estrategia de desarrollo para métodos de planificación de procesos de desinfección	38
3.3. Estrategia de desarrollo del entorno simulado	43
3.4. Métodos de evaluación del sistema	48
<b>4. Resultados y Discusión</b>	<b>52</b>
4.1. Resultados de funcionamiento	52
4.1.1. Funcionamiento del módulo para habitaciones inteligentes	52
4.1.2. Funcionamiento de la estrategia de planeación y ejecución de procesos de desinfección	55
4.1.3. Funcionamiento del entorno simulado	56
4.2. Resultados de pruebas desarrolladas en el sistema	59

<b>5. Conclusiones y Trabajos Futuros</b>	<b>66</b>
5.1. Conclusiones . . . . .	66
5.2. Trabajos Futuros . . . . .	68

# Índice de figuras

1.1. Descripción de los diferentes sistemas por los cuales se encuentra compuesto el proyecto COVIBOT, desarrollado por los diferentes grupos de trabajo. . . . .	14
2.1. Diagrama general donde se evidencian todas las etapas desarrolladas durante la selección de un correcto enfoque en la búsqueda de literatura. . . . .	19
2.2. Esquema descriptivo, de manera general, de los mecanismos y procesos presentes en el módulo desarrollado para habitaciones inteligentes. . . . .	32
2.3. Esquema descriptivo, de manera general, de los mecanismos y procesos presentes en la operación del robot desarrollado para desinfección de ambientes interiores. . . . .	32
2.4. Dibujo descriptivo de la incorporación e implementación de los diferentes mecanismos de monitorización y planeación de procesos de desinfección que compone el sistema en ambientes interiores. (a) módulo de habitaciones inteligentes, (b) robot de desinfección, (c) sensor estado de la puerta, (d) sensor conteo de personas. . . . .	33
3.1. Diagrama desarrollado sobre el diseño modular, basado en la metodología <i>Top-Down</i> , del módulo de habitación inteligente. . . . .	36
3.2. Esquemático desarrollado de la tarjeta secundaria implantable, que incluye los componentes utilizados en el módulo. . . . .	37
3.3. Desarrollo de la placa de circuito impreso (PCB) diseñada de la tarjeta secundaria implantable en el módulo. . . . .	38
3.4. Elaboración 3D de la estructura exterior, que cubre los circuitos internos del módulo; presentando la (a) vista de techo, (b) vista lateral y (c) composición general. . . . .	39
3.5. Ruta de desinfección propuesta para la interacción del robot con los espacios interiores, propiciado por un radio de aplicación suficientemente grande para desinfectar toda la zona. . . . .	40
3.6. Esquema explicativo acerca de los diferentes elementos que componen la comunicación en el marco de referencia ROS. . . . .	42

3.7.	Diagrama de flujo sobre el comportamiento de la interacción entre el módulo y el nodo orquestador del robot, para gestionar el proceso de trayectorias. . . . .	43
3.8.	Simulación, por medio de <i>Gazebo</i> , de los entornos, en el caso específico de una institución educativa, salones donde se pondrá en ejecución el sistema. . . . .	44
3.9.	Descripción de manera didáctica de la ejecución de tareas de desinfección por parte del robot móvil. . . . .	45
3.10.	Distribución de puntos de navegación al interior de salones de (a) distribución 3x3 o (b) distribución 4x4. . . . .	45
3.11.	Visualización del entorno de simulación en el que se incorpora múltiples salones con diferentes características, así como la inclusión del robot Husky, referenciado bajo la flecha, que va a desarrollar la estrategia de desinfección en este entorno. . . . .	47
3.12.	Diagrama explicativo de manera general, sobre la comunicación con el nodo orquestador y la publicación de tópicos de interés para la determinar la activación de alarmas en caso de eventos adversos. . . . .	49
4.1.	Resultado final de la tarjeta planteada y mandada a desarrollar, para su acoplamiento en la <i>Raspberry Pi 4</i> , visualizando (a) el acople que se genera a la tarjeta y la incorporación de demás elementos, como sensores y alarmas, (b) interconexión entre los terminales que irán acoplados a la tarjeta secundaria implementable, (c) tarjeta secundaria implementable con sus respectivas plantillas. . . . .	53
4.2.	Ejemplificación de pruebas, anteriores al acoplamiento de sensores y demás elementos que requiere la tarjeta adicional para su funcionamiento, en pro de verificar su funcionalidad individual, en este caso se presenta la prueba del sensor magnético y el buzzer, para el sistema de alarma. . . . .	54
4.3.	Terminal que representa el desarrollo de la activación de salones que cuentan con el módulo de habitaciones inteligentes, incluyendo su posterior inclusión de tópicos en el sistema general propuesto, para su interacción bajo la revisión del nodo orquestador. . . . .	54
4.4.	Ejecución de las diferentes trayectorias que se definieron bajo el protocolo de procesos de desinfección, (a) recorrido Zigzag, (b) recorrido espiral y (c) recorrido cuadrado, en espacios interiores. . . . .	55
4.5.	Visualización del entorno de simulación, acerca de (a) la numeración dispuesta para las habitaciones, así como (b) el entorno final elaborado mediante <i>Gazebo</i> . . . . .	57
4.6.	Terminal que permite visualizar la conexión entre nodos administradores encargados de labores de desinfección, administración de solicitudes o peticiones de esterilización y administración de rutas de navegación para llegar a destino. . . . .	57

4.7. Terminal que permite la visualización de la elaboración de un tópico que permita solicitar un proceso de desinfección en una habitación en específico. . . . .	58
4.8. Visualización de la recepción, por parte del nodo encargado de gestionar las peticiones y tomas la decisión de transmitirle dicha información al robot para la ruta de navegación a elaborar. . . . .	58
4.9. Estructura general de como los nodos y tópicos estarán involucrados en la funcionalidad del entorno de simulación, remarcando la comunicación y operatividad centrada en los administradores de desinfección, navegación y requerimientos, para que con apoyo del orquestador se realice la planeación de desinfección. . . . .	59
4.10. Terminal que permite visualizar la gestión de modificación de los parámetros monitorizados en las habitaciones inteligentes simuladas; así como la recepción, por parte del nodo de desinfección, de las peticiones de limpieza determinadas por estos módulos, en pro de administrar la información relevante para un nuevo trayecto de desinfección por parte del robot móvil. . . . .	62
4.11. Ejecución de la desinfección de ambientes interiores con base en las tres diferentes trayectorias que se definieron bajo el protocolo de procesos de desinfección, (a) recorrido Zigzag, (b) recorrido espiral y (c) recorrido cuadrado. . . . .	64



# Índice de tablas

2.1. Ejemplo del esquema utilizado para el filtrado de los artículos encontrados mediante las ecuaciones de búsqueda, posterior a la primera etapa de filtrado, basado en fecha de publicación del artículo y categorización de tópicos principales. . . . .	22
2.2. Características de los sistemas aplicados a monitorización de ambientes, que se asemejan en mayor medida al proyecto propuesto. . . . .	28
2.3. Características de los sistemas aplicados a desinfección de ambientes, que se aplicaron en casos recientes, frente a patógenos de condiciones similares al Covid-19. . . . .	31
3.1. Cuadro descriptivo de los principales materiales usados para el cumplimiento de los requerimientos estipulados para la funcionalidad el módulo. . . . .	37
3.2. Tabla demostrativa del almacenamiento de la ubicación bajo coordenadas de cada uno de los puntos discretizados del entorno simulado, específico para cada habitación. . . . .	46
3.3. Ejemplificación de los trayectos estipulados para una habitación en específico, con base en las coordenadas determinadas para cada ubicación discretizada del entorno. . . . .	46
4.1. Comportamiento de cada interacción relevante de la cual se compone el sistema, describiendo su desempeño de manera cualitativa, así como las observaciones registradas de su proceso. . . . .	60
4.2. Tabla compuesta de los valores registrados, mediante grabación de la ejecución de una tarea específica de desinfección, para la estimación de tiempos requeridos para la composición del evento virtual; descrito mediante pruebas (P) que parten desde el 1 hasta el 6. . . . .	61
4.3. Tabla proceso de evaluación del nodo orquestador y el reordenamiento de la ruta de desinfección, cumpliendo con requerimientos establecidos para ambos casos, trayectoria y luego evento, así como para trayectoria y evaluación de eventos. . . . .	63

4.4. Tabla de tiempos y distancias requeridos para completar la ruta de desinfección con base en las tres trayectorias establecidas, zigzag, espiral y cuadrada; permitiendo comparar la duración de estos procesos. . . . . 63

# Capítulo 1

## Introducción

En este capítulo se presenta la problemática principal, por la cual surge la iniciativa de concebir una herramienta tecnológica que colabore bajo este contexto; además de exponer el proyecto en el que se encuentra inmerso, y el impacto que se espera obtener mediante el agrupamiento de los diferentes enfoques que se abordan en esta investigación. Finalmente se presentan los objetivos del proyecto, que se buscan alcanzar mediante este sistema.

### 1.1. Motivación

Bajo el contexto de la pandemia, causada por el SARS-Cov-2 (Covid-19) y ante el inminente retorno a las actividades cotidianas de las personas, se ha empezado a estudiar los posibles factores que pueden llegar a ser clave en la prevención de propagación del virus; siendo la *Organización Mundial de la Salud* (OMS), el primero en remarcar que las gotículas secretadas por las personas contagiadas, pueden llegar a depositarse sobre objetos a su alrededor, propiciando que mediante el contacto de estas superficies, las personas lleguen a contaminarse [1]; por tanto, *Mutua Navarra*, entidad española enfocada en prestar asistencia sanitaria y rehabilitación derivada de accidentes o enfermedades profesionales, expresa la posibilidad de que en espacios cerrados con alta afluencia de personas, se combine la transmisión por gotas y contacto, con la transmisión aérea, favoreciendo mayor probabilidad de contraer el virus [2].

Esto se sustenta mediante diferentes estudios que expone la OMS, en donde se demuestra la presencia de partículas del virus, 72 horas posteriores a su exposición en superficies, tales como plástico y acero inoxidable, prolongando el peligro que expone su presencia para las personas [1]; es así que el *Ministerio de Salud de Colombia* emite una serie de recomendaciones para el cuidado de la salud, en las cuales se enfatiza la limpieza y desinfección de objetos y superficies, así como la adecuada ventilación de espacios interiores [3].

Partiendo de ello, la *Global Heat Health Information Network* (GHHIN), indica que los ambientes interiores deben propiciar variación del clima para

no favorecer la supervivencia del virus en superficies, permitiendo diluir los bio-aerosoles mediante estrategias básicas de ventilación [4], las cuales expone *GTM*, o grupo de trabajo multidisciplinar, ente asesor del *Ministerio de Ciencia e Innovación* de España, enfocado en temas científicos relacionados con el Covid-19 y sus consecuencias futuras, en donde se busca reducir el riesgo a contagio en habitaciones, proponiendo la creación de patrones de flujo de aire, entre estos patógenos y la extracción de aire, además de la dilución de estos componentes contaminantes mediante ventilación turbulenta, entendida como un aumento de la tasa de renovación de aire en el entorno; remarcando que estos microclimas pueden impulsar o no la permanencia del virus en la zona [5].

A partir de allí nace la necesidad de brindar mayor importancia a los factores ambientales presentes, para la transmisión del Covid-19 [6]; se realizaron investigaciones que sugieren un aumento de la humedad y la temperatura con un decaimiento de la tasa de contagios por día, en ciudades de China e Italia, argumentando menor tiempo presente en superficies o en el aire, facilitando erradicar el virus del ambiente [6]; de igual manera surgen estudios, como es el caso de *Monsolar Ingenieros*, empresa española de ingenieros encaminados a consultorías ambientales y energías renovables, que evalúan de igual manera la influencia de condiciones ambientales en espacios interiores con la presencia del virus, resaltando que la humedad tiene mayor incidencia en la existencia del germen [7], de tal manera que *Mutua Navarra*, alerta sobre los rangos apropiados para que una habitación no propicie la supervivencia del virus, con una humedad relativa aproximadamente del 50% y temperatura superior a 25 °C [2].

### 1.1.1. Protocolos de desinfección para ambientes interiores

De allí nace la necesidad de buscar alternativas que brinden soluciones óptimas de desinfección y climatización de ambientes interiores, enfocadas en reducir el tiempo de estancia del virus en la zona y en superficies que hayan entrado en contacto con personas contagiadas, en pro de proteger al personal inmerso en dicho ambiente. Por lo que se han planteado múltiples métodos capaces de disminuir o aniquilar los remanentes o sedimentos del virus en objetos cercanos [8]; estos métodos proceden del análisis y conocimiento previo de distintos patógenos que han desencadenado pandemias anteriormente, como es el caso del H1N1, SARS-COV-1, entre otros, entendiendo que las propiedades fisicoquímicas de estos virus tienen una estabilidad similar a la presentada en el Covid-19, propiciando un manejo semejante en su erradicación de superficies [8], [9].

En el ámbito de desinfección de material médico se conocen múltiples compuestos que son comúnmente empleados para dicho fin, como lo es la irradiación de alta energía, radiación ultra-violeta (UV), peróxido de Hidrógeno, óxido de Etileno, exposición térmica y etanol [8].

Sin embargo, de acuerdo a aplicaciones en campo, enfocadas en procedimientos que faciliten desinfección en la infraestructura intra-hospitalaria y que permita abarcar desde pisos y superficies hasta higienización del aire y el am-

biente, se han aplicado distintas secuencia de desinfectantes que presentan en su composición principalmente cloro, intercambio de aire y radiación UV, los cuales han tenido buenos resultados, alto impacto y son muy aplicados en hospitales de China y también en algunas regiones de Europa [9].

Es por ello que el *GTM*, evalúa el uso de tecnología ultravioleta C para la erradicación del patógeno [5]; sin embargo, *Mutua Navarra* advierte que el uso de estas lámparas no puede llegar a incidir en lugares donde se detecte la presencia de personas, debido a sus posibles riesgos de exposición, al entrar en contacto con manos o cualquier otra superficie de la piel [2].

De igual manera, los lineamientos expedidos específicamente para Colombia, *Decreto 666 de 2020*, según el *Ministerio de Salud* de ese país; indican que la limpieza y desinfección de estos espacios, deben basarse en un protocolo establecido por la empresa, basados en el conocimiento de la organización y los procedimientos que se realizan allí, además de realizar su ejecución previo a la apertura y cierre del lugar, en pro de mitigar y controlar los riesgos de contagio [10]. Así mismo, el *Ministerio de Comercio, Industria y Turismo*, recopila entre sus recomendaciones prácticas para espacios interiores, propiciar una periodicidad de limpieza de superficies en entornos de trabajo de tres (3) horas, además de la elaboración de instructivos para el personal [11].

Sin embargo, ya orientados al ámbito académico, las autoridades gubernamentales de Colombia, expidieron el *Decreto 1721 de 2020*, esclareciendo ciertos puntos a tener en cuenta en los protocolos y normas de bioseguridad para entornos educativos; remarcando las labores de desinfección al iniciar y finalizar cada jornada, dando énfasis en áreas comunes como comedores, corredores, entre otros; así como el almacenamiento de todo el material empleado para la desinfección, en un lugar seguro y donde solo pueda acceder personal autorizado [12].

### 1.1.2. Tecnificación de procesos en el sector salud

Debido a estas problemáticas sanitarias y demás requerimientos en el sector industrial, se ha generado una línea de investigación y desarrollo que emplea la interconectividad del internet de las cosas (IoT) para abordar problemáticas actuales; tal es así, que *Neiger* expone que la inclusión del IoT representa disminución de averías, mejoramiento de la calidad de vida, precisión, entre muchas otras ventajas [13]; relacionado con la *Cámara Valencia*, que ilustra esta inclusión de tecnología con el aumento en la eficiencia de procesos [14], además de predicciones realizadas por *Microsoft*, que enmarcan un aumento del PIB global en los próximos 16 años al incluir dichas tecnologías a la industria [15].

De igual manera el sector de la salud ha incrementado la aplicación de herramientas de IoT, 87% de organizaciones sanitarias en 2019 habrían adoptado esta tecnología, como expresa *Banafa* [16]; y bajo esta premisa se puede indicar que para 2021 este mercado crecería en un 26% según *López* [17]; además, indica *Newman*, no solo se impacta la atención médica, sino a su vez, se propicia espacios con sensores inteligentes que permitan registrar información de interés, generando áreas comunes inteligentes [18].

La utilidad e impacto fomentado por estas tecnologías, hacia una nueva era de la salud, como lo denomina *Fajardo* en el diario *La Tercera* de Chile, puede ayudar a controlar y notificar datos reales, para una correcta previsión de problemas en un futuro cercano, antes de tornarse críticos para este sector [19]; a su vez, el *Ministerio de Salud* colombiano, presenta normas, requisitos y mecanismos que deben seguir salvaguardando esta transformación digital; como lo son la accesibilidad, oportunidad y seguridad, para lograr un mejoramiento en el estado de salud y la sostenibilidad del sistema en pro de responder oportunamente a las expectativas de la población [20].

Adicional a estas tecnologías, se han aplicado en los últimos años sistemas relacionados con la ejecución de tareas, en este caso de desinfección, por parte de robots móviles, fomentando la descontaminación, hasta de un 98 %, de zonas con presencia de personas contagiadas, de enfermedades nosocomiales en dado caso, mediante navegación semi-autónoma, como lo evaluó *Yang et al.* [30]; adicional a ello, *Kovach et al.*, evalúa las tareas de desinfección de un robot en un centro geriátrico para la disminución de casos de neumonía, empleando la tecnología de luz ultravioleta, comparando el comportamiento del virus 36 semanas previo a la implementación del sistema de desinfección y 12 semanas aplicando dicho modelo, encontrando disminución en las tasas de contagios [31].

Por tal motivo, surge como problema de investigación el establecimiento de un sistema de monitoreo, que permita vigilar el estado del ambiente en el cual se encuentra inmerso y posibilite llevar un seguimiento de la desinfección de la habitación, alertando a las personas del ingreso a esa zona mientras se realiza la limpieza mediante tecnología ultravioleta C; facilitando la planeación de estos procesos, gestionado por la información que procesa el robot, acerca de la navegación por la institución, así como de los eventos advertidos por el módulo en cada habitación, propiciando una adecuada gestión de desinfección y manteniendo un entorno seguro para las personas que interactúan allí.

## 1.2. Proyecto COVIBOT

El planteamiento de este proyecto, se encuentra ligado al desarrollo y puesta en ejecución de todo un entorno automatizado y controlado de monitorización y desinfección de ambientes Covid-19, definidos bajo el contexto de zonas con alta densidad y/o flujo de personas, que pueden propiciar riesgos potenciales al contagio, ya sea por la presencia de micro-partículas, ausencia de elementos de protección personal, aglomeraciones o distanciamiento; por lo que se busca implementar herramientas robóticas que permitan dar un correcto y rápido acceso a información para su respuesta oportuna, en pro de minimizar riesgos de contaminación con el virus.

Este proyecto se gestiona a través de una red internacional de entidades académicas, de investigación y clínicas, liderada por la *Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito*, el profesor *Carlos A. Cifuentes* y la profesora *Marcela Múnera*, contando con el apoyo de la *Universidad de Edimburgo*, mediante el profesor *Subramanian Ramamoorthy*; evaluando su desempeño en un entorno

controlado de laboratorio para su puesta en funcionamiento en entidades externas.

Este proyecto está compuesto de múltiples módulos o secciones, como se evidencia en la Figura 1.1, los cuales se irán desarrollando mediante fases estipuladas a lo largo de un año para la puesta en ejecución de todo el sistema completo, a continuación se expone cada uno de estos enfoques.

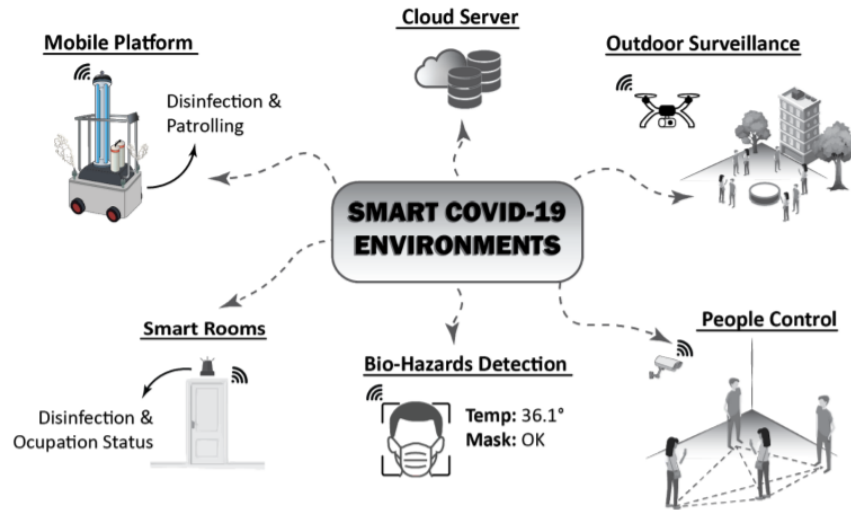


Figura 1.1: Descripción de los diferentes sistemas por los cuales se encuentra compuesto el proyecto COVIBOT, desarrollado por los diferentes grupos de trabajo.

- Servidor robótico en la nube

El objetivo trazado para este subsistema es permitir la interconexión entre las diferentes plataformas robóticas que se encuentre ligadas a este proyecto, como el robot de desinfección, drones de vigilancia y módulos de habitaciones inteligentes; propiciando una alta capacidad de procesamiento de máquina para la ejecución de tareas complejas, como la planificación de procesos de desinfección y alertas sobre comportamientos que pongan en riesgo la salud de las personas bajo este contexto de ambientes Covid-19.

- Estrategias de planificación y navegación para desinfección en entornos de trabajo

Desarrollo encaminado a la investigación y estipulación de tiempos de desinfección adecuados, es decir, evaluar el rango de tiempo recomendado, durante el cual se debe realizar el proceso de desinfección al salón, posterior

a la presencia de personas en la zona, sin llegar a impactar negativamente en la salud de los individuos, amoldándose a los tiempos de ocupación de cada sala; además de enfocarse en creación de trayectos eficientes para llevar a cabo la desinfección de estos espacios. Adicional a ello, promover navegación semi-autónoma para el proceso de desinfección en espacios intramurales, derivados de la obtención de características de ese entorno, gracias a la información recolectada por las habitaciones inteligentes, en caso de detectar presencia de personas previo a un evento proyectado en esa sala, entendiendo la necesidad de ejecutar la tarea de desinfección.

- Sistema de vigilancia de potenciales riesgos al aire libre

Este sistema está encaminado en evaluar y monitorear la distancia física entre las personas en espacios exteriores, adicional a ser capaz de detectar aglomeraciones, mediante cámaras de vídeo incorporadas a drones que sobrevuelan la zona a controlar, fomentando la disminución de personal para vigilar estas tareas, en pro de alertar cuando no se estén guardando todas las normas de bioseguridad en ese entorno y consecuentemente evitando que estos agrupamientos e infracciones se vuelvan recurrentes y afecten a las personas a su alrededor.

- Sistema de control del comportamiento de personas

Este sistema por el contrario, está enfocado en monitoreo de las personas en espacios interiores, siguiendo las normas estipuladas de bio-seguridad en espacios interiores, evaluando acciones de la vida diaria y prevenir comportamientos que puedan potenciar el riesgo al contagio.

- Sistema de detección de protección personal

Este sistema cuenta con un mecanismo desarrollado de detección de rostros, en pro de dictaminar que personas no llevan mascarilla, así como registrar datos fisiológicos de la persona que está siendo monitoreada, como la temperatura, alertando sobre un posible factor de riesgo en el entorno.

- Habitaciones inteligentes

Consta de la creación de un módulo inteligente capaz de almacenar y comunicar el estado de desinfección de una habitación, además de tener la capacidad de poder instalarse en cualquier entorno interior para su aplicación en un contexto real.

## 1.3. Objetivos del proyecto

### 1.3.1. Objetivo general

- Desarrollar un sistema de monitoreo y planeación de procesos de desinfección para ambientes COVID-19.



### 1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar una revisión de literatura relacionada con el monitoreo y planeación de procesos de desinfección en espacios internos.
- Desarrollar un sistema de monitoreo del estado de desinfección del ambiente, en espacios internos.
- Elaborar estrategias sobre planeación para la ejecución de tareas de desinfección.
- Evaluar en un ambiente simulado el sistema propuesto con un estudio de caso dentro de las instalaciones de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

### 1.3.3. Contribuciones

El proyecto presentado tiene como objetivo la monitorización y planificación de procesos en ambientes Covid-19, para su posterior integración a todo el sistema que compone el proyecto COVIBOT. Este sistema de monitorización y planificación se evalúa en un entorno simulado que permite extraer características del funcionamiento del modulo completo, asemejándose al comportamiento que se obtiene en un entorno de experimentación real.

Este proyecto se realizó de manera conjunta con un grupo interdisciplinar de profesionales en ingeniería, así como el consenso que se tuvo para su elaboración en convenio con la *Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito*, en pro de desarrollar tecnologías adecuadas para la supervisión de ambientes interiores; se desarrolló la metodología estipulada para este proceso de elaboración del sistema, cuyos resultados brindan un punto de partida para la estructuración de estas herramientas en un entorno universitario, así como la utilidad que brinde en el proyecto COVIBOT, respondiendo a la necesidad de la población al reingresar a entornos de educación.

### 1.3.4. Organización del documento

En esta sección se presenta un breve resumen del contenido de cada capítulo presentado en este documento.

- Capítulo 2: Contiene la metodología empleada para la elaboración del estado del arte, reuniendo información necesaria para conocer el avance de estas tecnologías y los diferentes métodos que se han aplicado bajo el enfoque de monitorización y planificación de procesos; de igual manera se ahonda en otros temas relacionados como métodos de desinfección, robótica y tecnologías mas utilizadas.
- Capítulo 3: Presenta la metodología propuesta para cada una de las etapas de desarrollo del sistema que alberga la monitorización y planificación de procesos de desinfección en ambientes Covid-19; se presenta sus métodos

de desarrollo, así como las posibles pruebas que se le imparten al sistema una vez finalizado, con el fin de evaluar el desempeño de la tecnología desarrollada.

- Capítulo 4: Se exponen todos los resultados derivados del funcionamiento de cada etapa, así como las tablas y figuras resultantes de la interacción entre módulos y las pruebas que se llegaron a ejecutar para la investigación.
- Capítulo 5: Se mencionan las conclusiones a las que se llegó posterior a analizar las pruebas y evidenciar la caracterización de los módulos que componen el sistema; adicional a ello, se incorporan trabajos futuros que determinan el paso a seguir y la orientación que toma la investigación y el proyecto ligado a COVIBOT.

## Capítulo 2

# Estado del Arte

Durante el desarrollo de este proyecto, se utilizaron múltiples tecnologías y mecanismos, enfocados en monitorización de ambientes, generación de alertas y mecanismos de planeación de procesos; los cuales requieren de un previo repaso de sus aplicaciones y utilidades en entornos controlados, referidos como espacios en donde la obtención de variables de interés, permiten modelar o describir situaciones que ocurren en esa zona, gestionado por la información recopilada del medio. Por lo que durante este capítulo, se presentan las diferentes tecnologías ligadas al proyecto y algunas de sus funciones, basado en el criterio de selección de literatura y su proceso de estructuración, el cual permita enfocarse hacia el sistema a desarrollar; además de presentar procedimientos que se asemejen en funcionalidad al módulo propuesto, permitiendo comparar con otras tecnologías, colaborando en el proceso de evaluación del sistema.

### 2.1. Método de revisión de literatura

En esta sección se describe detalladamente cada uno de los procesos que se llevaron a cabo, para el desarrollo de la investigación inicial, relacionado con la estrategia de búsqueda para estructurar y posteriormente comparar con trabajos relacionados encontrados en las bases de datos, abarcando tanto procesos de monitorización de ambientes como métodos de procesos de desinfección.

Para concretar el desarrollo, y propiciar un entorno de comparación con ventajas y aspectos a mejorar, de la tecnología propuesta, se debe partir de una evaluación de distintos sistemas que se hayan aplicado en entornos similares y que brinden apoyo en la información relevante para el proyecto, de acuerdo a su enfoque encaminado a la monitorización de ambientes y planificación de procesos. Para ello se constituyó una serie de fases que permiten plasmar un enfoque claro del módulo de las habitaciones inteligentes, en pro de facilitar la búsqueda de documentos que atañen directamente a la investigación, Figura 2.1.

Como primera medida, se debe radicar la importancia a la solución de las preguntas de investigación, derivadas del problema evidenciado que propició esta

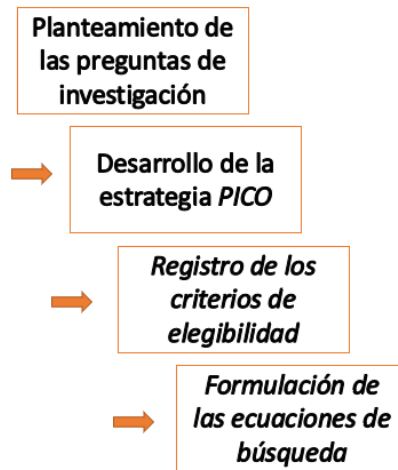


Figura 2.1: Diagrama general donde se evidencian todas las etapas desarrolladas durante la selección de un correcto enfoque en la búsqueda de literatura.

iniciativa. Por lo cual se busca resultados encaminados a esclarecer interrogantes cómo: *¿Qué tipo de sistemas se emplean para la monitorización de procesos?, ¿Cuál es su enfoque o método de trabajo?, ¿Cuáles sistemas de monitoreo de procesos de desinfección de ambientes Covid-19 se emplean actualmente?, ¿Qué tipo de mediciones se realizan en estos ambientes monitoreados?, ¿Cómo se relaciona dicho sistema al Covid-19?, ¿Qué métodos son comúnmente utilizados para la planeación de procesos de desinfección?, ¿Cuáles son las características principales para plantear un proceso de desinfección?*, que agrupen una serie de proyectos encaminados para tal fin.

A continuación, se empleó la estrategia *PICO*, que permite determinar ciertos factores (población, intervención, comparación y salidas), en los que el mecanismo o sistema a desarrollar va a presentar incidencia; por lo que para el modulo de habitaciones inteligentes, se registra, de acuerdo a su aplicabilidad proyectada en universidades, como la *Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito*, una población específica de personal de trabajo en espacios interiores, determinado por los directivos, profesores, estudiantes y demás trabajadores de la institución; adicional a ello, la intervención que se registra implementando el sistema resulta útil para el control del estado de desinfección de una habitación o salón, además de velar por la seguridad y cumplimiento de las normas de bioseguridad en espacios interiores. Por lo cual los sistemas a comparar son aquellos que sean capaces de monitorizar procesos en espacios específicos, obteniendo como salidas la activación de diferentes registros, con base en la variable a medir en dicho ambiente y su variación en el tiempo.

Previo a elaborar las diferentes combinaciones de ecuaciones de búsqueda, se

registra los criterios de inclusión y exclusión de artículos para este documento, ligado a la disposición de la estrategia *PICO*, favoreciendo un mejor filtrado de los documentos encontrados en las bases de datos, con base en el tema o enfoque de cada investigación, por lo que se listan las pautas establecidas:

1. Criterios de inclusión a la búsqueda.

- Sistemas que abarquen el tema de monitorización de procesos (ya sea de desinfección o no).
- Artículos relacionados con ambientes Covid-19.
- Artículos relacionados con el sector salud.
- Artículos en inglés y español.
- Artículos que relacionen temas como Internet de las Cosas, aplicación de sensores y otros dispositivos para la monitorización.
- Conferencias y libros que abarquen el tema de monitorización de procesos.
- Artículos que evalúen el impacto de monitorear espacios.
- Artículos que abarquen diferentes tecnologías como redes de sensores inalámbricos.
- Artículos que registren métodos para desinfección, mediante herramientas robóticas.
- Artículos relacionados con ambientes Covid-19 y su desinfección.
- Artículos que generen estrategias de planificación de procesos de desinfección.

2. Criterios de exclusión a la búsqueda.

- Artículos que no proveen la información suficiente para categorizarlos en sistemas de monitorización.
- Artículos que no cumplen con el tiempo límite de fecha de publicación del artículo (mayor a 15 años).
- Artículos que no estén enfocados en el monitoreo de ambientes.
- Artículos que se enfoquen en monitorización de parámetros fisiológicos de las personas.
- Artículos que no incluyan tecnologías enfocadas en monitorización o robótica.
- Artículos que se enfoquen en localización y ubicación de personas.
- Artículos que se fundamenten en la tecnología para control de objetos, enfoque de domótica.
- Artículos que no aborden el proceso de elaboración de las estrategias de desinfección.

- Artículos que no basen su estrategia de desinfección en espacios interiores.

Finalmente se expone las ecuaciones de búsqueda que permitieron encontrar un aproximado de 140 artículos referente a los temas destinados por las dos etapas anteriores, a través de bases de datos como *Springer*, *PubMed*, *Scopus*, entre otras.

- (Monitoring system) AND (Smart rooms)
- (Monitoring system) AND (Internet of things)
- (Monitoring system) AND (Health care)
- (Monitoring system) AND (Smart rooms) AND (Environment)
- (Monitoring system) AND (Smart rooms) AND (Health care)
- (Process planning) AND (Disinfection) AND (Covid-19)
- (Process planning) AND (Robots)
- (Robots) AND (Covid-19) AND (Disinfection)

Mediante los criterios de inclusión y exclusión se facilitó el proceso de filtrado a 66 artículos, de los cuales se eliminaron, mediante adecuación de los parámetros de exclusión a partir de los resultados obtenidos, aquellos *papers* con fecha de publicación menor a 10 años, así como estudios que emplearon cámaras para la monitorización y remarcaban su interés en parámetros fisiológicos de las personas, como se visualiza en el Tabla 2.1, logrando reducir el número a 35 artículos, los cuales se aplicaron en el desarrollo del estado del arte de este documento.

## 2.2. Tecnologías aplicadas a la monitorización

El motivo de incluir esta sección deriva del alto impacto y múltiples oportunidades que brinda el uso de sensores en el ámbito de seguridad, ya sea para registro de actividad, autenticación, entre otras; permitiendo mediante la medición remota de parámetros, controlar o vigilar el estado de la persona [21], y así como expone *Mehmood et al.*, también esta adquisición de datos posibilita administrar información relevante de procesos específicos, en caso de valores atípicos, para una respuesta oportuna [22].

Así mismo, estos dispositivos pueden llegar a generar redes de sensores inalámbricos, los cuales son el resultado del trabajo conjunto de múltiples receptores de información que, de manera remota, permiten determinar el comportamiento del entorno sensado, como lo expone *Tunca et al.*, facilitando abarcar múltiples variables para monitorización de procesos [23]; así mismo estos sistemas pueden compilarse en la nube, promoviendo procesos de toma de decisiones

Referencia	Título	Fecha publicación	Categorías
Carli et al. [56]	IoT Based Architecture for Model Predictive Control of HVAC Systems in Smart Buildings	2020	IoT, entorno aplicable, <i>Smart room</i> , monitoreo ambientes.
Martínez et al. [67]	Virtualization of Event Sources in Wireless Sensor Networks for the Internet of Things	2014	IoT, sensores, entorno aplicable, sistema de alarmas, <i>Smart city</i> , seguridad, monitoreo de habitaciones.
Capella et al. [68]	A Reference Model for Monitoring IoT WSN-Based Applications	2016	IoT, sensores, entorno aplicable, revisión de tecnologías, monitoreo de ambientes.

Tabla 2.1: Ejemplo del esquema utilizado para el filtrado de los artículos encontrados mediante las ecuaciones de búsqueda, posterior a la primera etapa de filtrado, basado en fecha de publicación del artículo y categorización de tópicos principales.

con base en los datos almacenados [24], demostrando que estos dispositivos en conjunto con demás herramientas tecnológicas pueden facilitar la supervisión de factores.

Además de la aplicabilidad de los sensores, se requiere el manejo del *Internet de las Cosas*, o IoT por sus siglas en inglés, que favorezca la transmisión de información en tiempo real, permitiendo esta interconexión de dispositivos [25], y es de esta manera como la automatización de procesos puede llegar a impactar industrialmente [26], permitiendo realizar, según *Mercy et al.*, una serie de métodos de manera automática para los objetivos que se tengan proyectados [27]; por lo que la aplicación de IoT gestiona la comunicación y facilita la interacción de dispositivos.

Propiciando la generación de métodos que interactúen con el ambiente, para llegar a ser capaces de alertar [55], realizar control predictivo de condiciones ambientales [56], o enfocarse en la planificación de procesos mediante este sensado, dependiendo de las necesidades presentes y resultados que se quieran implementar al construir el entorno asociado a las habitaciones inteligentes.

Uno de los problemas que más se plantean en cuanto a entornos intramurales, es la evaluación del estado de la calidad del aire, debido a componentes presentes en el ambiente que pueden representar peligro para la salud [58], así como entornos donde se detecte la presencia de humo de cigarrillo para su control [59], incluso llevándolo a un entorno generalizado de ciudad inteligente [60], que detecte el nivel de polución del ambiente; esto se debe a la búsqueda de monitorización de condiciones ambientales más complejas pero que favorezcan y protejan de igual modo, la vida de las personas.

La importancia de estas aplicaciones radica en la visualización de resultados adversos en el entorno, como cambios en la composición del aire [60], además de su adaptación, dependiendo de las múltiples partículas presentes, que se busque detectar, así como lo evalúa *Raluchukwu et al.* [59]; por lo que estos sistemas pueden expandirse a demás factores ambientales siempre que cumplan con la caracterización de sus valores para su monitorización por el personal adecuado.

Otras aplicaciones que puede llegar a tener esta interconexión entre sensores y el IoT para componer una habitación inteligente son, monitorización de salas de computo en pro de detectar situaciones anómalas, desarrollado por *Hu et al.* [61], así como la administración y control de un entorno para adultos mayores, enfocado en caídas, ligado a la detección de actividades que impliquen un riesgo potencial de sufrir daños, al ser ejecutadas por la persona [62], y finalizando con prácticas ejecutadas para la evaluación constante del lecho marino, en pro de vaticinar posibles alteraciones debido al cambio climático [63]; remarcando la idea de que para monitorización de ambientes y estudios en tiempo real es conveniente aplicar estas tecnologías interconectadas mediante el IoT, así como el impacto que posee en entornos no necesariamente enfocados a habitaciones, pero siempre de la mano con la investigación y el desarrollo científico.

Por lo cual, siendo consciente del problema que representa el regreso a las instituciones educativas, ante la posible presencia de gotículas sobre superficies y objetos que hayan estado expuestos al virus, debido a la alta afluencia de personas, y la necesidad de aplicar tecnologías para desinfección y monitoreo



de ambientes en espacios interiores, derivado de los protocolos establecidos para entornos saludables de los asistentes a las universidades y colegios; se pretende aplicar los conceptos de IoT y las facilidades que brindan los sensores y tecnología inalámbrica, para generar una habitación inteligente, mediante un módulo de fácil instalación, que permita sensar dicho entorno en tiempo real y lleve a cabo un seguimiento del estado de desinfección de esa zona común, que favorezca la planeación de procesos de desinfección y de la misma manera, permita alertar a las personas en caso de que el salón se encuentre realizando un procedimiento de esterilización.

Se aplicarán entornos de programación como *Robot Operating System* (ROS), el cual es un marco de referencia, para el desarrollo de software, compuesto de múltiples herramientas enfocadas a aplicaciones robóticas [64]; que permitan establecer las características idóneas para la interacción de diferentes sistemas, de alarma y sensado, con el ambiente; así como el hardware *Raspberry Pi*, de *Raspberry Pi Foundation* del Reino Unido, compuesto de ordenadores de placa reducida de bajo coste, [65]; que permita acoplar dichos sensores al dispositivo intermedio, fomentando la interconexión entre ellos; que mediante protocolos de comunicación envíen la información en tiempo real a la nube para su almacenamiento y registro; propiciando un sistema de bajo costo que cumpla con los requerimientos mencionados.

### 2.3. Monitorización de ambientes

Las tecnologías expuestas previamente, permiten visualizar sus beneficios para determinadas tareas en enfoques de monitorización, ya sea registrando las actividades significativas o primordiales de personas con enfermedades (como Parkinson y demencia) [72], o la prevención de desastres mediante el registro en tiempo real de parámetros físicos del ambiente [75], desde el entorno en el cual vive y se desenvuelve la persona. O bien, implantando sistemas de detección de anomalías en un entorno de trabajo [69] y captando información de niveles o concentraciones de ciertas partículas presentes en el medio [78], ligado a ambientes externos de la residencia. Por lo que a partir de ello, se puede comprender dos grandes enfoques, de manera exclusiva al hogar o frente a otras realidades, como oficinas, granjas, etc. Adquiriendo múltiples variables como por ejemplo, temperatura, humedad, iluminación, ubicación, presión, entre otras.

Si bien las variables expuestas en ambos casos tienden a ser similares, las variables sensadas están relacionadas al enfoque que deriva para cada estudio, es por ello que a continuación, se presenta con mayor detalle, el alcance que posee la adquisición de esta información del ambiente, dependiendo del entorno en el que se pretenda realizar el monitoreo.

### 2.3.1. Monitorización de viviendas o residencias

El enfoque dado a la monitorización de viviendas, puede estar enfocado en percibir la rutina diaria de las personas, determinado por la posibilidad de sensar el ambiente en el que se desenvuelve la mayoría del tiempo, como se presenta al momento de evaluar la conducta y comportamiento de adultos mayores en su domicilio [23], así como la detección de actividades que demanden un riesgo importante para la salud de las personas, como caídas, derivando en la necesidad de dispositivos inalámbricos, que permitan un continuo seguimiento de la persona, con la posibilidad de tener un entorno que determine un evento provocado por el cambio en el estado de movilidad de la persona [62]; permitiendo radicar su importancia en el constante seguimiento que se le puede brindar a personas que demanden un continuo rastreo de su actividad.

Esto también encaminado a dicha población (adultos mayores), que optan por continuar en sus lugares de residencia, donde la observación de su rutina no va a estar controlada, en vez de casas de cuidado especial para esta población, donde presentan personal idóneo para esta tarea de monitoreo [71], así como la evaluación del ambiente en el que se desenvuelve la persona, en búsqueda de regular factores que puedan desencadenar problemas en la población, como incremento de niveles de CO<sub>2</sub>, o aumento de la humedad en la habitación [76], favoreciendo la gestión de procurar mejorar y estar en continuo chequeo de la calidad de vida de las personas.

No obstante, esta monitorización también puede contribuir a controlar, no el estado de la persona pero si las variantes que se encuentran a su alrededor, como la intensidad de la luz en una habitación, derivada de la estimación de luz que ingresa desde el exterior [73], en dado caso, al no ser un entorno netamente clínico, se puede incentivar el uso de interfaces que permitan visualizar los valores detectados en el ambiente, para que se le pueda brindar al usuario, la oportunidad de comprender su entorno y sus posibles variantes a lo largo del día, dependiendo de las variables captadas [75]; por ello, variables encaminadas al estado de la habitación, pueden estar ligadas a su descripción y percibir cambios en su zona.

A su vez, esta comunicación entre sensores, en el ambiente de hogar, activo las 24 horas del día, demanda un gasto de energía importante para la vivienda, de ello se deriva la utilización de sensores inalámbricos, que mediante la red wi-fi, de bajo consumo, permita controlar algunos servicios, como es el caso de la energía eléctrica [66], de igual manera, se debe velar por continuar con un entornos favorable a los habitantes de la zona, ya que en algunos casos, la implantación de sensores en sus casas provoca inconvenientes, cambios en el comportamiento e incomodidad a las personas [72]; por lo que la aplicabilidad de estos sensores debe ir de la mano de una debida implementación, favoreciendo al usuario, en ves de disminuir su independencia a los componentes presentes allí.

Adicional a ello, esta detección de parámetros debe ir asociada a una virtualización del evento, permitiendo informar de primera mano al sistema, permitiendo identificar el sensor que detecta la característica, para gestionar y

depositar la información de manera interna, publicando las variables de interés que se requieren para atención oportuna, como es el caso de ubicación, proceso detectado, entre otras [67], esto también generado ante la necesidad de brindar información de sensores, para sensores, en caso de requerir activación de elementos, bajo reglas específicas, como es el caso de *Ling, et al.*, que a través de la detección de cambios abruptos en temperatura y humedad del ambiente, estimula otro sensor a su activación para captar una imagen [55]; esta importancia de la comunicación interna de los sensores, permite brindar un sistema robusto y fiable, con base en parametrización sólida de lo que se busca monitorear.

### 2.3.2. Monitorización de otros entornos

En relación a monitorización de zonas diferentes al lugar de residencia de las personas, se permite evaluar diferentes características del ambiente, velando por la conservación de un entorno saludable o recomendado para la persona o tecnología que se propicie salvaguardar.

En las salas de computo, se registra un aumento de la temperatura importante en ocasiones, en que la demanda de estos equipos es alta, es por ello que se registran sistemas de monitoreo de esta variable, permitiendo alertar al coordinador, de rangos no aconsejables para la operación de las máquinas [61], así como el registro y trazabilidad que se puede gestionar, mediante tecnologías inalámbricas en el lecho marino, en pro de evaluar una alteración significativa de ese ambiente, producido por el cambio climático [63]; por lo que se puede distinguir este patrón de monitorización de entornos ajenos a la residencia de las personas, como medición de parámetros del exterior que pueden llegar a incidir en las personas de manera indirecta, por lo cual es remarcada la importancia de llevar un registro de dichas variables.

De igual manera, la gestión que se le da a la información percibida en dichos entornos, permite también modelar cronogramas de ocupación de habitaciones, como es el caso de *Saralegui et al.*, donde registra actividad en los salones, obteniendo una fase de conocimiento de esta tendencia, para luego poder mantener una relación de horarios en que los salones se encuentren ocupados [77], esta predicción del comportamiento de las personas o las características del ambiente, también pueden estar ligadas a la selección de horarios en los cuales, mediante la sensorica incluida en la sala, permite gestionar los sistemas de ventilación de un edificio [56], por lo que permite determinar la optimización de procesos, así como la autogestión de actividades que colaboran con la organización de la institución, aplicando dicho enfoque de monitorización.

Estos mecanismos de comunicación, al buscar aplicar la gestión y mantenimiento de ambientes, requieren de una estructura definida de almacenamiento de la información, para si acceso de manera oportuna y conservar variables importantes a la hora de generar una predicción [26], otro ejemplo de ello, se aplica en los hospitales, donde el personal asistencial puede requerir de mayor acompañamiento en ciertas zonas del hospital, permitiendo mediante el conteo de personas en la habitación, dictaminar que sectores requieren mayor prioridad para mantener una frecuente atención y despacho de los usuarios de las instala-

ciones, previendo colapso debido al incremento de requerimientos allí [57]; es por ello que las tecnologías enfocadas en ambientes no relacionados a la vivienda de las personas, se encuentra encaminada en adquirir conocimientos del ambiente en el que se encuentra inmerso, para poder producir una solución frente a diferentes necesidades que se están presentando en el lugar.

## 2.4. Trabajos relacionados - *Smart rooms*

En esta sección se compila, mediante un filtrado exhaustivo de las diferentes tecnologías encontradas en las bases de datos, los sistemas que poseen mayor relación con el proyecto propuesto, resaltando parámetros importantes de su estructura, Tabla 2.2, en pro de permitir una comparación y análisis del producto final con estos términos.

Como primera medida, se seleccionó los artículos que cumplieran con los requisitos de inclusión en la literatura válida para este proyecto, siendo algunos de los más relevantes, sistemas descritos que abarquen la monitorización de procesos, tecnologías aplicadas y su impacto. Posteriormente, se realiza una etapa de filtrado, determinado por las características estipuladas que tendrá el diseño del sistema propuesto para este proyecto, como el uso de dispositivos intermedios (*Raspberry Pi 4* en este caso), así como la lectura de parámetros sensados en el ambientes (dependiendo de la aplicabilidad que se le da a cada sistema de monitoreo) e inclusión de mecanismos de alarma; permitiendo asemejarse, y de la misma manera, compararse con la tecnología de los módulos de habitaciones inteligentes desarrollados en este proyecto.

Ya enfocado en el contenido del Tabla 2.2, obteniendo los sistemas con mayor semejanza en cuanto a sus mecanismos de funcionamiento, se puede evidenciar que la variedad de aplicaciones que posee la monitorización, está dada por los requerimientos de mantener una constante evaluación de ambientes o comportamientos, que puedan llegar a ser perjudiciales en caso de no tener control sobre ellos o no prestar una vigilancia continua de estos valores, en efecto, se tiene como objetivo velar por salvaguardar la integridad, ya sea de las personas, animales o equipos, frente a diferentes eventos adversos que representen peligro.

De igual manera, los parámetros que se monitorean en cada habitación, están muy ligados a la aplicación que se le impone al sistema; sin embargo, la gran mayoría de estos factores, presentan un rango determinado, frente al cual se mantiene un ambiente seguro, pero al exceder estos límites, se debe requerir de atención inmediata en la zona; es por ello, que se incorporan sistemas de alarma, que permiten alertar al ente vigilante, de prestar especial atención a ciertos valores captados en una zona específica de estos espacios interiores, desligando la necesidad de contar con personal para el monitoreo todo el tiempo, solo convocándose en caso de eventos adversos o no permitidos por el sistema.

Como se evidencia, estos mecanismos de alarma, así como su integración en todo el sistema de monitorización del ambiente, requieren de un dispositivo intermedio, que permita interconectar los componentes que captan información del medio, así como los elementos empleados para brindar estos datos al en-

Referencia	Sistema de monitoreo	Parámetros sensados	Protocolo comunicación	Sistema alarma	Interfaz gráfica
Tewell et al. [72]	Actividades significativas en una casa inteligente	Movimiento, apertura puerta, presión, potencia y humedad	Raspberry Pi 3, bluetooth y Z-wave	No aplica	No
Budiarto et al. [78]	Temperatura, niveles de amonio y comida en una granja de pollos	Temperatura, niveles de amonio y comida	Raspberry Pi y Bluetooth	SMS	No
Muhammad et al. [69]	Garantiza ambiente de trabajo seguro en una industria textil	Humedad, humo y sonido	Raspberry Pi 3 y wi-fi	Buzzer y SMS	No
Raluchukwu et al. [59]	Detección de humo y calidad del aire	Temperatura y humo	Arduino y MySQL	SMS	Si
Lu et al. [75]	Factores ambientales de una vivienda	Temperatura, humedad, iluminación y humo	MQTT, HTTP, Node-Red, MySQL	No aplica	Si
Kurniawan et al. [74]	Temperatura y humedad en una habitación de servidores	Temperatura y humedad	Raspberry Pi y MySQL	SMS	Si

Tabla 2.2: Características de los sistemas aplicados a monitorización de ambientes, que se asemejan en mayor medida al proyecto propuesto.

te regulador, mediante distintos mecanismos de comunicación (como protocolo HTTP, MQTT o Bluetooth), facilitando la tarea de comunicación entre las partes y propiciando el procesamiento necesario para dictaminar si se requiere de una alerta por parte del sistema; allí, se emplea diferentes vías para hacer llegar la información de estado de alarma, puede ser mediante mensaje, de manera visual, así como el uso de sistemas auditivos, Buzzer, para tal fin.

Por tanto, se puede rescatar de las características de estos sistemas, la capacidad de comunicación entre dispositivos que adquieren y suministran información, empleando dispositivos intermedios que favorezcan el desarrollo de procesamiento y toma de decisiones, así como la inclusión de sistemas que soliciten la atención del ente regulador en dicha zona, favoreciendo la independencia del sistema y su fiabilidad para representar los eventos adversos.

## 2.5. Métodos de desinfección en ambientes interiores

La desinfección en espacios interiores, es uno de los principales objetivos para la erradicación o detención de los procesos de transmisión de virus [32]; es por ello, que ha surgido la iniciativa de implementar métodos de salas automatizadas sin contacto durante la desinfección o en inglés *no-touch disinfection system* (NTD), ofreciendo la oportunidad de generar una correcta desinfección del ambiente, con ausencia de personal que supervise estas prácticas, siendo esto una barrera contante en los métodos de desinfección común [33], [35], [34].

Estos métodos NTD, son comúnmente utilizados para erradicar otro tipo de bacterias, como *Acinetobacter baumannii*, *Clostridium*, entre otros, que tienden a presentar en su característica una alta propagación, además de ser resistentes al ambiente, logrando permanecer en superficies durante periodos prolongados [35], [36], tal como acontece con el virus del Covid-19; Es por ello que se evalúa la implementación de desinfección por radiación ultravioleta-C (UVC) o mediante agentes químicos como el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) [36], [37].

Estos métodos de esterilización han sido aplicados en múltiples estudios, de clínicas y hospitales alrededor del mundo, especificando que tanto bacterias como virus, tienen una destrucción de enlaces moleculares, inhibiendo la reproducción celular cuando se alcanza una longitud de onda de radiación UVC de 254nm aproximadamente [38], [39]. Es por esto, que cuando se realiza NTD por medio de UVC se hace uso de lamparas de radiación de luz ultravioleta-C, ya que estas presentan una longitud de onda entre 200-280nm, teniendo un alcance entre 2 a 3 metros de descontaminación continua [39], [41].

Ejemplo de ello, es la evaluación en el año 2013 de un dispositivo (*Tru-D*), que permitía de manera autónoma generar el proceso de desinfección mediante radiación UVC, se aplicó en diferentes entornos clínicos, como quirófanos, encontrando un alto porcentaje de erradicación del patógeno en el medio, logrando una alta tasa de desinfección del área en el que se implantó, mediante evaluación por medios externos a pruebas de laboratorio [42].

Con base en estos trabajos, relacionados a desinfección de ambientes asistidos por robots móviles, los cuales favorecen la ejecución del proceso de manera autónoma, se puede generar una tabla que contenga las características principales de estos mecanismos, así como los resultados y conclusiones que se obtengan posterior a su implantación y/o evaluación, como se visualiza en el Tabla 2.3.

Con base a ello, se puede remarcar que las dos metodologías predominantes en la búsqueda de erradicación de agentes externos en el ambiente, son las técnicas enfocadas en irradiación de las superficies con UVc, así como la utilización de  $H_2O_2$  para la descontaminación del entorno, obteniendo resultados propicios para sentenciar que existe una mejoría en el ambiente, derivado de la reducción de carga biológica, de manera principal, frente a virus que poseen una característica de permanencia en superficies y aerosoles, similar a la del virus del Covid-19; adicional a ello, radica su importancia en la aplicabilidad en la cual se emplean estas tecnologías, como lo es la desinfección de zonas de cuidados intensivos, salas quirúrgicas y demás ambientes que requieren de un nivel de esterilización especial para velar por la seguridad de las personas allí inmersas, siendo de igual manera, ambientes interiores.

Es por ello, que se propone incorporar la tecnología de UVc, en un robot móvil que ayude en la navegación por la institución, para la desinfección de las salas; de igual manera, al aplicar este método de limpieza, se debe conservar ciertas pautas para evitar los riesgos de salud al prevenir una exposición directa con los rayos ultravioleta de esta tecnología; de allí la aplicabilidad que se brinda mediante los módulos de habitaciones inteligentes, que se encarga de proteger a las personas de ingresar erróneamente a una sala que se encuentra en proceso de esterilización.

Finalmente, se plantea un sistema, que integre las aplicaciones del robot, referente a sus trayectorias dentro de la institución, así como el acople de las lámparas de luz ultravioleta para la desinfección, que permita comunicarse constantemente con el módulo de las habitaciones inteligentes, el cual brinda información acerca de la cantidad de personas presentes en la sala, para coordinar la ruta de desinfección de los salones y su reestructuración en caso de reportar un exceso de personas en determinado salón, de igual manera, salvaguardar la integridad de las personas, al momento de realizar la desinfección en una sala, verificando el estado de la puerta y presentando un sistema de alarma auditiva en caso de irrupción en la habitación; la descripción de manera general de los dos sistemas integrados se presentan en la Figura 2.2 y Figura 2.3.

Como última medida, se gestiona la visualización de manera descriptiva, de la implementación del módulo dentro de una habitación, así como la ejecución de tareas del robot; permitiendo dilucidar de manera mas clara los puntos propuestos, que esta tecnología pretende brindar en su aplicación en ambientes interiores, Figura 2.4; allí se puede evidenciar la implementación de *a*, el módulo de las habitaciones inteligentes, de manera que se pueda acoplar a los espacios educativos, el gráfico *b* está dictaminando la operación del robot de desinfección en la sala, el componente *c*, representando el sensor que evalúa el estado de la puerta de ingreso a la habitación y finalmente *d* que es la incorporación de dos sensores que permiten, bajo la relación entre ambos, estimar un ingreso o salida

Referencia	Objetivo de estudio	Método desinfección	Área de estudio	Resultados
Blazejewski et al. [28]	Eficacia de técnicas con $H_2O_2$ y comparación con vaporizador de $H_2O_2$	Técnicas de $H_2O_2$ por NTD	Salas médicas y quirúrgicas de cuidados intensivos, contaminadas con organismos multirresistentes	No hay diferencias significativas entre ambos métodos, es más eficiente una limpieza de rutina seguida de un tratamiento con $H_2O_2$
Bedell et al. [29]	Eficacia de rayos UVc en erradicación de muestras de MERS-CoV	Radiación UVc por NTD	Muestras contenidas en placas de Petri	Emisión de UVc durante 5 minutos significó efectividad de 99% de erradicación contra el patógeno
Casini et al. [39]	Efectividad dispositivo emisor UVc frente a carga bacteriana ambiental, comparación con protocolo estándar	Radiación UVc por NTD	Áreas clínicas críticas, como salas quirúrgicas y unidad de cuidados intensivos	Reducción de fallas de higiene y control de contaminación por microorganismos.
Zeber et al. [40]	Efecto de UVc en comparación con desinfección estándar	Radiación UVc por NTD	Salas de cuidados intensivos	Reducción de carga biológica de bacterias, método potenciado al incluir etapa de limpieza manual previa.
Schaffzin et al. [41]	Desinfección de habitaciones de alta prioridad y salas de aislamiento	Radiación UVc por NTD	Centro de referencia cuaternario pediátrico	Disminución de infecciones en el hospital

Tabla 2.3: Características de los sistemas aplicados a desinfección de ambientes, que se aplicaron en casos recientes, frente a patógenos de condiciones similares al Covid-19.



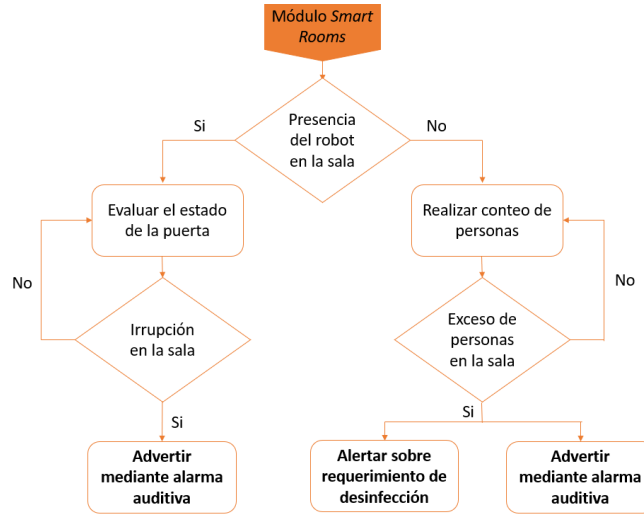


Figura 2.2: Esquema descriptivo, de manera general, de los mecanismos y procesos presentes en el módulo desarrollado para habitaciones inteligentes.

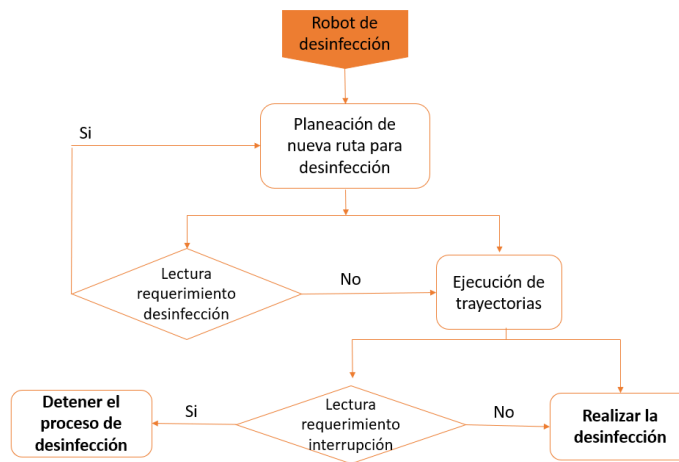


Figura 2.3: Esquema descriptivo, de manera general, de los mecanismos y procesos presentes en la operación del robot desarrollado para desinfección de ambientes interiores.

del salón.

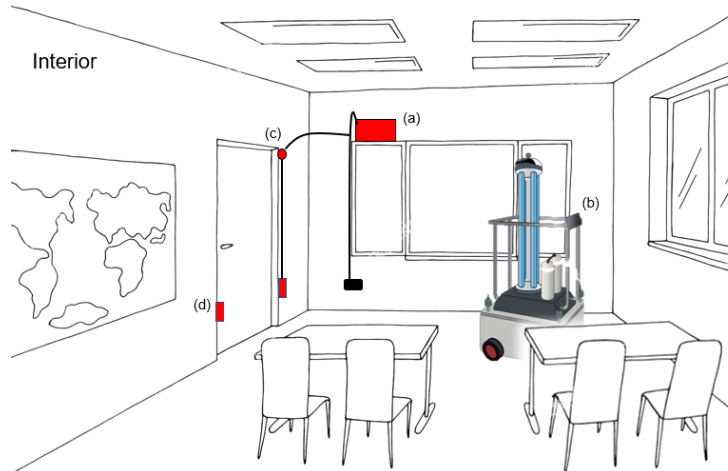


Figura 2.4: Dibujo descriptivo de la incorporación e implementación de los diferentes mecanismos de monitorización y planeación de procesos de desinfección que compone el sistema en ambientes interiores. (a) módulo de habitaciones inteligentes, (b) robot de desinfección, (c) sensor estado de la puerta, (d) sensor conteo de personas.

## Capítulo 3

# Metodología

En esta sección se describe detalladamente cada uno de los procesos que se llevaron a cabo, para el desarrollo final del proyecto, partiendo de las diferentes etapas que constituyen la elaboración de los módulos de las habitaciones inteligentes, así como la estrategia de búsqueda para estructurar los métodos de planeación para procesos de desinfección; permitiendo avanzar paulatinamente en la elaboración y cumplimiento de estos procedimientos. Es por ello, que se presentan las diferentes metodologías adaptadas sobre desarrollo de Hardware y Software, además de fundamentos sobre la producción de la lista de requerimientos del sistema, las estrategias de planificación de procesos de desinfección, la elaboración del entorno simulado y el tratamiento estipulado para la evaluación del módulo, mezclando el uso del módulo físico con el ambiente simulado.

### 3.1. Estrategias de desarrollo del módulo para habitaciones inteligentes

En relación al diseño y elaboración del sistema, el cual comprende una sección de Software y otra de Hardware, se plantea inicialmente con un listado de requerimientos, encaminados al desarrollo del módulo para habitaciones inteligentes, los cuales exponen de manera clara y concreta las características que debe cumplir esta sección del proyecto, comprendido por requerimientos funcionales (acciones del sistema) y no funcionales (estructura del sistema) [43], esta idea se desarrolla gracias al grupo multidisciplinar de la *Escuela Colombiana de Ingeniería julio Garavito* en comunión con los integrantes del Proyecto COVI-BOT, identificando cada uno de los requerimientos. De acuerdo a lo expuesto, se presenta su respectivo listado de requerimientos:

- El módulo será capaz de comunicarse y consultar información acerca de la presencia del robot en la sala.
- El módulo presentará una sección de sensado y otra de alarma, para su interacción entre sí.

- El módulo será capaz de evaluar el estado de la puerta de la habitación, en pro de conservar un ambiente seguro durante la presencia del robot.
- El módulo generará una alerta en caso de detectar interrupción en los procesos de desinfección.
- El sistema debe ser capaz de estimar la cantidad de personas que se encuentran en la habitación, velando por el cumplimiento del aforo máximo permitido en espacios interiores.
- El sistema será capaz de generar una alerta en caso de exceder el máximo de personas presentes en la habitación.
- El módulo usará como fuente de energía, la red eléctrica, transformada con base en una fuente de poder que proporciona a todo el sistema 4.5 Voltios (V) y 5 Amperios (A), suministrando 3A para el funcionamiento adecuado de la *Raspberry Pi* y el restante distribuido a través de los sensores presentes en la tarjeta secundaria implementable.
- El módulo debe tener la posibilidad de encenderse o apagarse mediante un interruptor, con el fin de facilitar su manejo.
- La tarjeta desarrollada para el módulo, contará con un sistema de protección, que asegure la correcta distribución de energía a cada una de sus etapas.
- El módulo podrá implementarse en la infraestructura de los salones de la *Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito*.
- El empaque donde se encontrará almacenado el módulo, debe ser resistentes a los componentes químicos que utiliza el robot para la desinfección, en pro de una mayor durabilidad.

Esta lista de requerimientos es el resultado de las múltiples iteraciones que se generaron mediante las estrategias de desarrollo de Software y Hardware, para que al final de dichos métodos, y mediante la concepción inicial de la solución que el módulo pretende brindar al ser implementado, obtener las propiedades expuestas anteriormente.

Con relación a ello, se expone la metodología apropiada para desarrollo de Hardware, conocida como método *Top-Down*; la cual se basa en el concepto de la comprensión de una idea, en un estado muy general, de lo que se busca desarrollar. A partir de allí, se empieza a desglosar o a ser más específico en los requerimientos de cada planteamiento inicial, logrando como consecuencia, encontrar los elementos primarios del esquema, permitiendo cerciorarse de incluir componentes que permitan llegar a la solución original, sin brindar la posibilidad de alterar el funcionamiento concebido [44].

Por lo que en el caso específico del módulo para las habitaciones inteligentes, se parte de concebir la idea de un sistema, capaz de acoplarse a una tarjeta *Raspberry Pi 4*, la cual requiere de estar alimentada a una fuente de 3A para

su correcta operatividad, presentando características técnicas favorables como capacidad de memoria RAM hasta de 8GB, inclusión de un procesador Broad-com BCM2711, así como la disposición de múltiples puertos USB, HDMI y su sistema de carga con el conector USB tipo C; en la cual se obtenga salidas de interés, como lo son los distintos sensores (de distancia y magnéticos), adicional a un sistema de alarma auditivo, que se pueda instalar de manera sencilla en cualquier salón que así lo requiera. Con base en ello, se deriva la división de diferentes etapas que debe contener la tarjeta (alimentación, distribución, protección, sensado y alarma), Figura 3.1, para poder realizar el estudio de los materiales óptimos para su implementación bajo esta premisa.

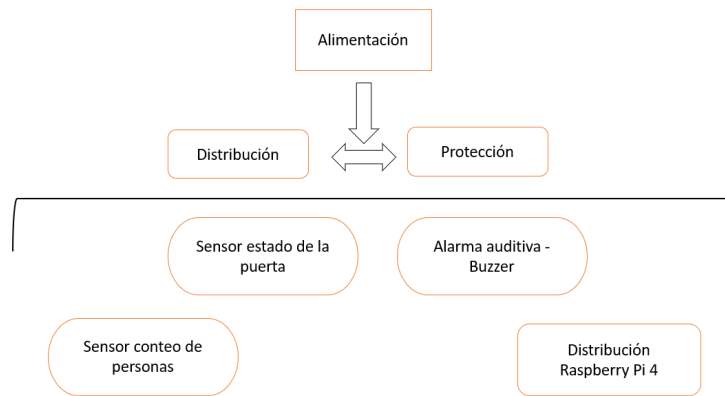


Figura 3.1: Diagrama desarrollado sobre el diseño modular, basado en la metodología *Top-Down*, del módulo de habitación inteligente.

De acuerdo al desarrollo inicial para el proyecto, basándose en el método de desarrollo de Hardware, se estableció un esquema, Figura 3.2, que determina los aspectos específicos y en más detalle, de la operatividad del módulo, mediante diferentes componentes que entrarán en ejecución, una vez se incorporen a la tarjeta adicional desarrollada; además, cuenta con la conexión para los pines de la *Raspberry Pi*, permitiendo elaborar la programación en su interfaz, de manera que se sistematice de igual manera la tarjeta adicional, proveyendo a los elementos que la componen su funcionalidad previamente estipulada.

Para analizar en más detalle la elaboración del esquemático de la tarjeta, Figura 3.2, se presentan los materiales y la funcionalidad que prestan, para cada una de las tareas que debe realizar el módulo, incluyendo los requerimientos por los cuales debe estar compuesto el sistema, Tabla 3.1, presentando las conexiones para alimentar la alarma auditiva, mediante un Buzzer, sistema capaz de convertir la energía eléctrica en sonido, así como la inclusión de elementos de protección, como porta-fusibles, entre otros. Para los componentes que permiten estimar el número de personas en la habitación, se utiliza sensores infrarrojos capaces de registrar distancias absolutas hasta de dos metros, bajo la comunicación por I2C, presentando voltaje de funcionamiento entre 2.6V y 5.5V,

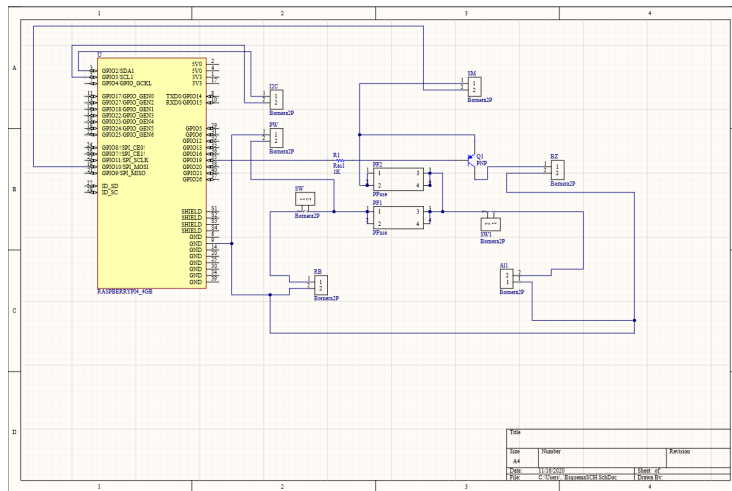


Figura 3.2: Esquemático desarrollado de la tarjeta secundaria implantable, que incluye los componentes utilizados en el módulo.

permitiendo adecuar el rango de distancia del láser.

Material	Funcionalidad
Buzzer	Produce la alarma auditiva
Switch Magnético	Registra el estado de la puerta Valida el ingreso o salida de la habitación Advierte sobre irrupción durante proceso de desinfección
Fusible	Encargado de la protección de las tarjetas
Interruptor	Encargado de brindar un rápido encendido/apagado para ambas tarjetas
Bornera	Permite el acople de los componentes a la tarjeta
Sensor Infrarrojo	Capta la distancia de un objeto Permite estimar el número de personas en la habitación

Tabla 3.1: Cuadro descriptivo de los principales materiales usados para el cumplimiento de los requerimientos estipulados para la funcionalidad el módulo.

De igual manera la elaboración de este esquema, a un circuito implantable mediante baquelita, material comúnmente usado para la elaboración de placas electrónicas, se realiza a través de la herramienta *Altium Designer* (Australia, Altium Limited) el cual es un software de automatización de diseño electrónico, que permite generar la distribución de una tarjeta electrónica, con base en la inclusión de los diferentes materiales que la componen, por lo que en la Figura 3.3, se visualiza la caracterización de esta tarjeta, que cuenta con etiquetas en su exterior que permiten distinguir de manera fácil, las conexiones allí implantadas.

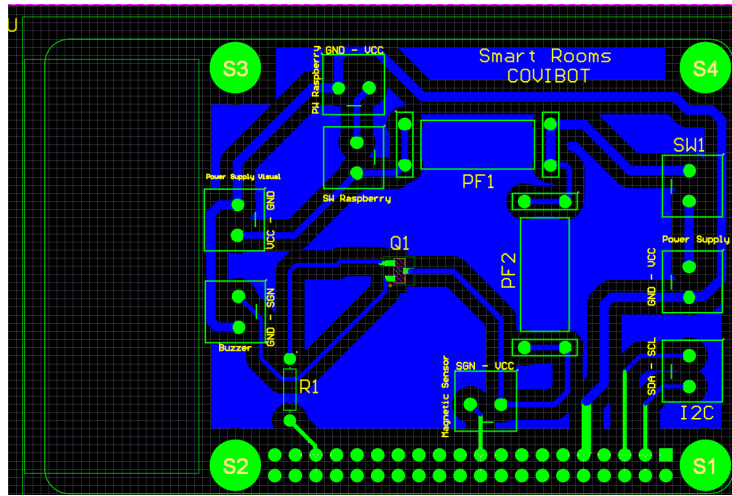


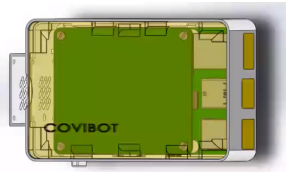
Figura 3.3: Desarrollo de la placa de circuito impreso (PCB) diseñada de la tarjeta secundaria implantable en el módulo.

De igual manera, conociendo el tipo de acople que va a poseer la tarjeta, frente a la *Raspberry Pi*, se encamina el diseño del protector de los circuitos, a un diseño compacto que promueva su fácil instalación en cualquier salón, además de contar con una estructura resistente a las fuentes que inciden en el, al estar en una zona que será irradiada; por ello se genera una simulación de la carcasa que va a contener los circuitos, dejando espacio para su debida ventilación y la extracción de algunos componentes que no se ubicarán en su interior, Figura 3.4; en donde se expone múltiples vistas, como vista de techo, Figura 3.4a, así como vista lateral, Figura 3.4b y un ejemplo de su propósito general, Figura 3.4c, permitiendo comprender su mecanismo de acople al salón, así como la distribución que debe tener para que los componentes que así lo requieran se mantengan en el exterior.

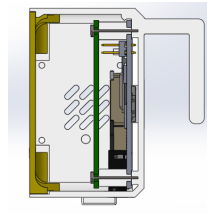
### 3.2. Estrategia de desarrollo para métodos de planificación de procesos de desinfección

Esta subsección, tiene como finalidad encaminarse en la selección del método que posee mayor eficiencia a la hora de realizar la desinfección en espacios interiores, así como concretar las estrategias para llevar a cabo este proceso de esterilización.

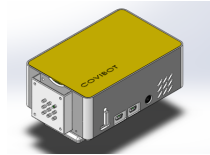
Como primera medida se exponen algunos de los requerimientos que se encontraron más relevantes, a la hora de desarrollar la estrategia de planificación de procesos de desinfección, por parte del grupo de trabajo, permitiendo estructurar las vías mediante las cuales se irá conformando la metodología de



(a) Propuesta a implementar para el protector del módulo, vista de techo.



(b) Propuesta a implementar para el protector del módulo, vista lateral.



(c) Propuesta a implementar para el protector del módulo, descripción general.

Figura 3.4: Elaboración 3D de la estructura exterior, que cubre los circuitos internos del módulo; presentando la (a) vista de techo, (b) vista lateral y (c) composición general.

desarrollo.

- El robot podrá recibir información constante acerca de trayectos y rutas de navegación, para su operatividad en el entorno.
- La estrategia de planificación de procesos deberá contar con un método de desinfección establecido para su ejecución en entornos Covid-19.
- La estrategia de planificación de procesos permitirá un recorrido adecuado en cada salón, en donde se propicie la cobertura de todas las superficies del salón.
- La estrategia de planificación de procesos podrá ser ejecutada para múltiples salones, propiciando su aplicabilidad en un entorno real.
- La estrategia de planificación de procesos verificará su efectividad de desinfección de manera virtual, utilizando marcadores digitales que representen la aspersión de los métodos de desinfección, durante la navegación del robot móvil en la habitación a esterilizar, en pro de ser una herramienta segura.
- El robot cumplirá con el recorrido establecido para desinfección de ambientes, robusteciendo su confiabilidad en la ejecución de tareas.





herramienta es usada en todos los sistemas robóticos actuales, compilando herramientas y convenciones para facilitar tareas de caracterización de robots en diferentes plataformas [45]. Adicional a ello, contiene una interfaz de transferencia de mensaje, la cual es una de las secciones principales de ROS, que permite la comunicación entre procesos, conocida como *middleware* [46].

Inicialmente se debe conocer que ROS maneja múltiples tipos de datos, como lo son enteros, booleanos, punto flotante, cadenas y listas, que permiten abarcar enfoques variados en el campo de operación [47]; estos datos, van a estar almacenados en estructuras llamadas mensajes, los cuales son los encargados de conectar cada uno de los procesos requeridos durante la ejecución del programa, especificando la estructura de los datos [48].

Para que estos mensajes puedan ser aplicados, se deben crear nodos, los cuales son procesos de operaciones, es decir elementos que permiten brindar el funcionamiento a una tarea específica, trabajando de manera escalada, por lo cual para el movimiento de un robot, por ejemplo, se debe componer de múltiples nodos que realicen tareas específicas [49]; estos nodos van a intercambiar los mensajes mediante buses de información, llamados tópicos, los cuales operan bajo la mención de suscriptores y editores anónimos, permitiendo desligar la producción de información con su adquisición o consumo, los nodos se suscriben a un tópico para funcionar o publican a un tópico para entregar información de su proceso [50].

Por lo que esta composición de editores y suscriptores, se denomina servicio, comprendido por un mensaje que se comunicará [51]; finalmente el ROS Master, se encargará de llevar el registro de los nodos del sistema, almacenados en un conjunto de herramientas para reproducir aplicaciones de ROS, llamados paquetes [52], llevando un seguimiento de los editores y suscriptores de tópicos y servicios [53]. Esta estructura descrita, determina el modo de operación de ROS, visualizando algunos planteamientos de operatividad en la Figura 3.6.

Por tanto, se plantea la elaboración de dos nodos que permitan la operatividad y comunicación del módulo de habitaciones inteligente, así como la interacción con un nodo orquestador, elaborado por el grupo de trabajo, en el cual también se dictamina la ruta de navegación del robot de desinfección, por lo cual su interconectividad va a ser de vital importancia para el desarrollo de la estrategia de planificación de procesos, generando trayectorias adecuadas, de acuerdo a tiempo y disponibilidad de la sala.

Es por ello que se especifica la creación de dos nodos que permitan activar las características presentadas en el módulo de habitaciones inteligentes, como estado de la puerta para la seguridad del entorno, con base en la lectura de información suministrada por un nodo orquestador, que dictamina la presencia del robot en la sala; este reporte permite activar el sistema de seguridad del módulo, el cual monitorea el estado de la puerta, en pro de evitar cualquier tipo de intromisión durante el proceso de desinfección, en caso de recibir información del tópico editado por el nodo orquestador en el cual indica la presencia del robot en la habitación; o bien, activando el sistema de conteo de personas, que estimará el número de individuos que se encuentran al interior de la sala, en caso de no encontrarse el robot allí, velando por evitar aglomeraciones en recintos

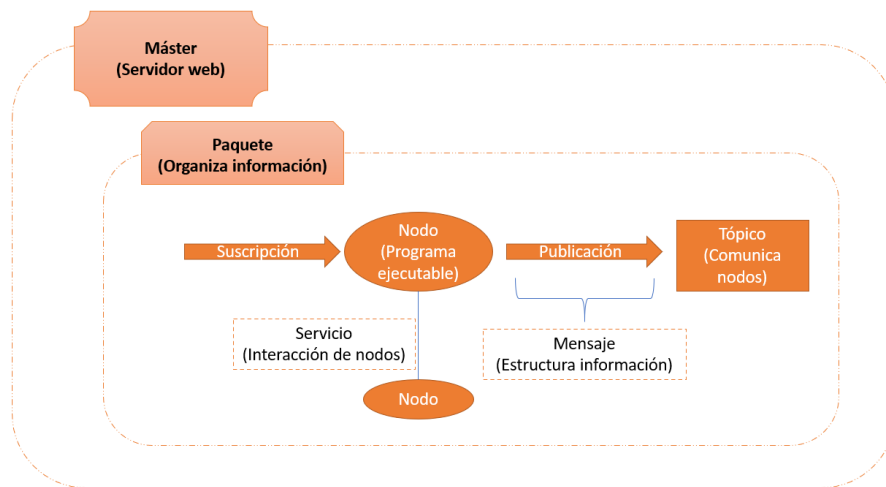


Figura 3.6: Esquema explicativo acerca de los diferentes elementos que componen la comunicación en el marco de referencia ROS.

cerrados, como lo son las aulas de clase.

En relación al proceso de desinfección, se dispone de un nodo que almacena las peticiones realizadas por los módulos de habitaciones inteligentes, ya sea por el sensado de la puerta o por el conteo de personas, para que de la mano con el nodo orquestador, encargado de adquirir esta información, se estime el costo de gestionar una nueva ruta de desinfección bajo la trayectoria del robot, que abarque la localización que genera la petición de limpieza; interconectando nodos de navegación con los nodos ubicados operativos en las habitaciones inteligentes.

Adicional a ello, uno de los nodos que tiene alta influencia en el comportamiento del robot, es aquel que recibe las alertas de los módulos dispuestos en las habitaciones, solicitando procesos de desinfección, almacena las peticiones realizadas, ya sea por el sensado de la puerta o por el conteo de personas, para que de la mano con el nodo orquestador, encargado de adquirir esta información, se estime el costo de gestionar una nueva ruta de desinfección bajo la trayectoria del robot, que abarque la localización que genera la petición de limpieza; interconectando nodos de navegación con los nodos operativos de las habitaciones inteligentes; por lo que el sistema debe ser capaz de estimar tiempos de desinfección según el cronograma establecido y evaluar si existe la posibilidad de priorizar el llamado que se realiza de manera espontánea por parte de las habitaciones inteligentes, fundamentado en la Figura 3.7.

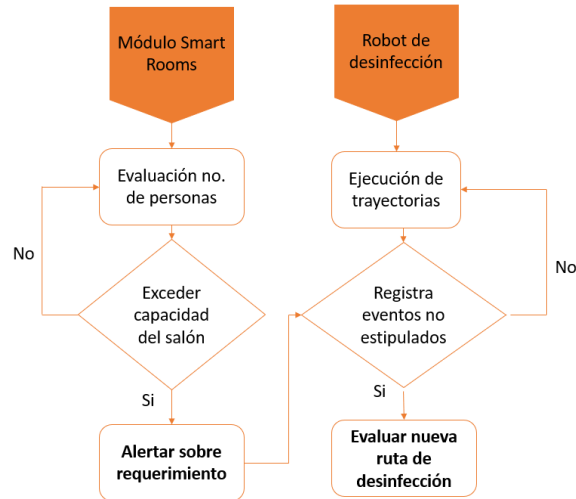


Figura 3.7: Diagrama de flujo sobre el comportamiento de la interacción entre el módulo y el nodo orquestador del robot, para gestionar el proceso de trayectorias.

### 3.3. Estrategia de desarrollo del entorno simulado

En esta sección, se expone el proceso para simular el entorno de una habitación interior en un ambiente educativo, en pro de evaluar el modelo de manera virtual, permitiendo estimar el alcance de la solución, gracias al potencial presente en la herramienta de simulación 3D *Gazebo* (Player Project, 2004), visualizando el comportamiento del robot, frente a los protocolos de desinfección propuestos.

Como primera medida se debe recalcar que *Gazebo*, es un simulador que permite probar algoritmos, utilizar robots y realizar pruebas, utilizando ambientes realistas; permitiendo emular de forma precisa y eficiente el desempeño de un robot en un entorno [54]; facilitando la tarea de traslapar estos sistemas al mundo real. Entre sus múltiples características está la simulación dinámica, gráficos avanzados, generación de datos por sensores, así como la inclusión de robots en dicho mundo y el control que brinda mediante herramientas de comando para su ejecución [54].

Por lo cual, el proceso de elaboración del entorno simulado parte de la aplicabilidad que se le da al entorno *Gazebo*, para generar salones virtuales, que recreen las dimensiones de un salón de la *Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito*, Figura 3.8, así como la descripción del proceso para elaborar las rutas o directrices de navegación, posterior al acoplamiento del robot, mediante

la opción que brinda Gazebo al incorporar el robot Husky, empleado en este caso para emular el robot de desinfección dispuesto para representar el robot móvil que será implementado en la universidad; una vez se contengan estos pasos se propicia el espacio para ejecución de pruebas y evaluación del funcionamiento de cada etapa del sistema.

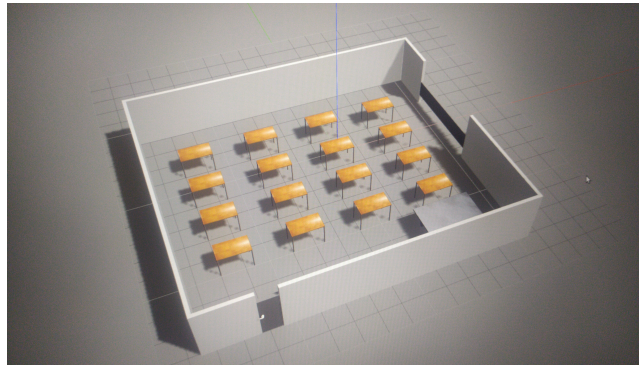


Figura 3.8: Simulación, por medio de *Gazebo*, de los entornos, en el caso específico de una institución educativa, salones donde se pondrá en ejecución el sistema.

El mecanismo de funcionamiento del robot de desinfección, está dado por una batería que permite su funcionamiento autónomo, así como por sensores que permiten captar el medio en el que se encuentra, para poder de manera simultánea registrar su ubicación, así como el mapeo elaborado de su entorno, esto con el fin de planear la ruta de navegación y ejecutarla; adicionalmente, está equipado con los métodos de desinfección determinados por las lámparas UVC y las bombas químicas que buscan erradicar el virus mediante su composición y propiedades; para la operación de estos métodos, la infraestructura del robot móvil, contiene una batería de 12 voltios y un inversor DC-AC, que permite entregar la energía de manera adecuada a los mecanismos de desinfección para su operación; de tal manera que el robot se desempeñe como transporte del sistema de desinfección. De igual modo, el robot tiene la necesidad de conectarse a un entorno de almacenamiento de información para evaluar y generar rutas de navegación con base en los requerimientos de desinfección de las habitaciones, cabe aclarar que este robot se encuentra actualmente en fase de desarrollo para su implementación en la evaluación física que se le realice al sistema, en la Figura 3.9, se puede generar un esquema general del objetivo del agendamiento del robot.

Para ello, se elaboran múltiples mundos, ambientes simulados con diferentes características, para la inclusión del robot, compilado en un entorno en el cual se evalúa el desenvolvimiento del equipo en esa área; ayudado por la discretización de puntos específicos en cada salón, consecuentemente agrupados en una matriz, que permite la elaboración de la trayectoria y colabora en el proceso

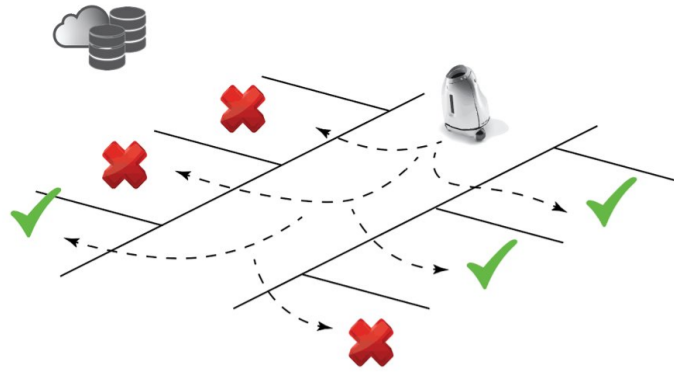
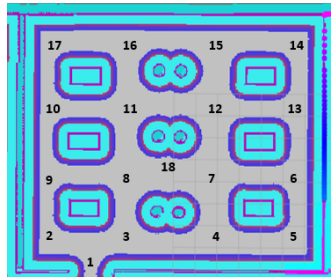
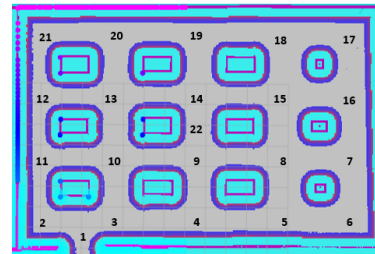


Figura 3.9: Descripción de manera didáctica de la ejecución de tareas de desinfección por parte del robot móvil.

de comprobar la ejecución de manera adecuada por parte del robot de la ruta pactada, Figura 3.10; allí se puede evidenciar la diferencia del manejo de datos discretos, con base en el tamaño y localización de zonas de desinfección, siendo para la Figura 3.10a, de 18 puntos, sin embargo la Figura 3.10b llega a requerir de 22 puntos para circular por toda el área perteneciente al salón.



(a) Discretización de puntos para un salón de 3x3 mesas.



(b) Discretización de puntos para un salón de 4x4 mesas.

Figura 3.10: Distribución de puntos de navegación al interior de salones de (a) distribución 3x3 o (b) distribución 4x4.

Con base a ello, se debe realizar para cada salón, su distribución de mapeado, con base en la metodología propuesta de discretización de las zonas, para generar un plan de movimiento, en el cual el robot identifique los lugares de referencia para su navegación, almacenando esta información para cada uno de los salones, de manera específica, obteniendo coordenadas de la localización de dichos puntos, bajo el formato de  $x$  y  $y$  en el plano, como evidencia el ejemplo resumen de los datos almacenados para una habitación, Tabla 3.2.

Frame_ID	X	Y
Map	-16.98	0.64
Map	-18.44	-1.12
Map	-18.46	2.53
Map	-18.52	6.42
Map	-18.51	10.15

Tabla 3.2: Tabla demostrativa del almacenamiento de la ubicación bajo coordenadas de cada uno de los puntos discretizados del entorno simulado, específico para cada habitación.

Con base en dichos puntos, y basados en el establecimiento de unos numerales específicos para cada locación en la habitación, se puede describir la trayectoria de cada método de navegación por la sala (zigzag, cuadrado o espiral) [42], mediante la agrupación y relación que poseen dichas numeraciones con el valor de ubicación que son suministrados, para que el robot pueda ejecutar procesos con base en la información y seguimiento de estas trayectorias, bajo el formato expuesto en la Tabla 3.3, ejemplificado para una habitación en específico.

Trayectoria	Arreglo de marcadores
Espiral	[1, 22, 10, 8, 15, 13, 2, 6, 17, 21, 1]
Zigzag	[1, 2, 4, 6, 7, 9, 11, 12, 14, 16, 17, 19, 21, 1]
Cuadrado	[1, 2, 4, 6, 17, 19, 21, 2, 1]

Tabla 3.3: Ejemplificación de los trayectos estipulados para una habitación en específico, con base en las coordenadas determinadas para cada ubicación discretizada del entorno.

Dicha elaboración de mundos, aprovechando las capacidades que posee este entorno de simulación, debe partir del concepto de asemejar en gran medida las dimensiones al entorno que se busca impactar, en este caso las instalaciones de la *Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito*, permitiendo una mayor precisión y seguridad a la hora de impactar de manera física con todos los procesos desarrollados, como se evidencia en la Figura 3.11, en donde se visualiza, por medio del entorno de simulación, la compilación de salones emulando las características de un entorno educativo.

Consecuentemente, aprovechando las ventajas del entorno de simulación, se debe estipular el radio en que las lámparas UVc, tendrán su rango de alcance máximo, esto con el fin de visualizar si el proceso de desinfección cumple con el objetivo de desinfección de todas las superficies inmersas en el ambiente interior, inicialmente se cuenta con lámparas UVc que presentan una longitud de onda de 254nm 138 nm, los cuales presentan un área de cobertura al ser irradiados de 30-40 m<sup>2</sup> [30].

De esta manera se puede generar los requerimientos del sistema ya interconectado, entre módulo, robot y ambiente simulado en el que se desenvuelve las

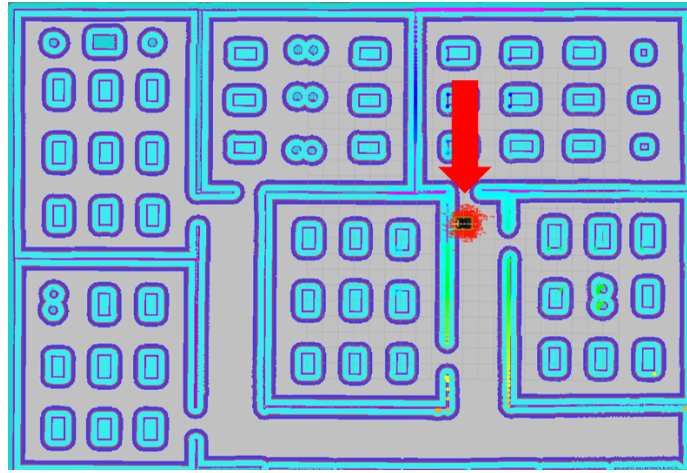


Figura 3.11: Visualización del entorno de simulación en el que se incorpora múltiples salones con diferentes características, así como la inclusión del robot Husky, referenciado bajo la flecha, que va a desarrollar la estrategia de desinfección en este entorno.

pruebas para evaluar el desempeño del mismo. Por lo cual se exponen a grandes rasgos algunas características incluidas por las cuales el sistema debe cumplir.

- El sistema deberá ejecutar sus tareas establecidas dentro del entorno de simulación, para permitir registrar el cumplimiento de las tareas asignadas a cada sección
- El sistema permitirá la conexión del entorno simulado, en el cual se está desarrollando el robot, con un entorno físico, que estará dado por la monitorización del módulo.
- El sistema aplicará la estrategia de desinfección estipulada, para verificar su validez y correcta aplicación.
- El sistema contará con la comunicación continua del módulo de habitaciones inteligentes con el robot de desinfección, para examinar las idóneas suscripciones y ediciones de los nodos estipulados para tal fin.

Por último, se expone el mecanismo de operación del sistema, involucrando el módulo para habitación inteligente, así como la estrategia de planificación de procesos de desinfección, involucrando la tarjeta *Raspberry Pi 4*, por medio de su interfaz, para ejecutar en ROS, los diferentes nodos y tópicos que se deben comunicar durante la ejecución del proceso de monitorización del salón, agregando la incorporación de la tarjeta adicional, desarrollada para obtener fácilmente las salidas de interés, ligado con la comunicación con el nodo orquestador, que



permite la caracterización del sistema, para la ejecución de los protocolos de desinfección.

El módulo de habitaciones inteligentes, compuesto por el acople de ambas tarjetas, estará alimentado por red eléctrica, y allí, la tarjeta adicional será la encargada de distribuir la corriente a los circuitos exteriores del protector del módulo, además de suministrar energía suficiente para encender la *Raspberry Pi* 4.

El sistema va a captar información del medio en el que se encuentra, como el estado de la puerta y la detección del ingreso o salida de una persona de la habitación, mediante dos nodos, los cuales serán los encargados de publicar los valores en los que se encuentran los sensores, además de generar notificaciones virtuales al nodo orquestador sobre anomalías en el entorno sensado, caracterizados por incumplimiento de las normas de bioseguridad, favoreciendo la adaptación de la navegación ejecutada por el robot de desinfección, derivado de estos valores publicados; allí es fundamental el desarrollo del nuevo protocolo de desinfección, con base en la petición registrada.

El primero nodo, que estará activo cuando se registre la presencia del robot en la habitación, realizando labores de desinfección, estará encaminado en velar por la seguridad de las personas en la zona, recibiendo información constante acerca del estado de la puerta de ingreso a la sala, generando una alarma en el momento en que se detecte una irrupción en la habitación, en pro de minimizar riesgos frente a la exposición a los métodos de desinfección que ejecuta en ese instante el robot.

El segundo nodo se activará en el estado en que no se encuentre el robot en la habitación, por lo que permite el ingreso de personas a la habitación, pero estará delimitado a un número restringido de personas aglomeradas en el espacio interior, guardando con las medidas recomendadas en estos salones, por medio de la detección de ingresos y salidas del recinto, se podrá estimar cuantas personas se encuentran presentes en la sala, publicando el número de asistentes y generando una alarma en caso de exceder ese límite de personas, por lo que propiciará un nuevo trayecto en lo que respecta al robot. En la Figura 3.12 se evidencia el mecanismo general de evaluación y monitorización del ambiente.

La salida del sistema estará compuesta por la alerta suministrada, además de una identificación exclusiva para cada habitación o ID, permitiendo que el robot pueda ubicarse con mayor facilidad, acerca del lugar en el cual se requiere su presencia para desinfección; el sistema de igual manera reestructura la ruta de navegación y propicia la desinfección del ambiente según protocolo.

### 3.4. Métodos de evaluación del sistema

Para este apartado, se exponen los diferentes ítem a evaluar posterior al desarrollo de la tecnología que compone el módulo de las habitaciones inteligentes, junto con el proceso de planificación de desinfección, en pro de someter estos mecanismos a diferentes valoraciones, que permitan tasar el desempeño del sistema, bajo la aplicación del módulo físico en un entorno simulado, para

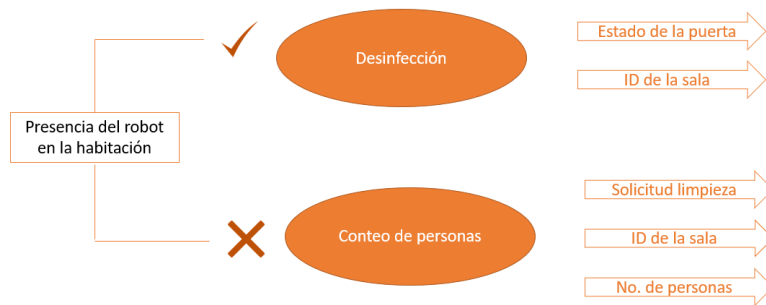


Figura 3.12: Diagrama explicativo de manera general, sobre la comunicación con el nodo orquestador y la publicación de tópicos de interés para la determinación de alarmas en caso de eventos adversos.

visualizar el comportamiento de ambos desarrollos de manera conjunta en un espacio experimental.

- Inicialmente, con base en las diferentes fuentes encontradas sobre trabajos relacionados, en la sección de estado del arte, se elabora un cuadro comparativo que permita dilucidar las variaciones que presenta este sistema frente a otras disposiciones técnicas de los demás dispositivos que estén encaminados al monitoreo de ambientes, en temas relacionados con parámetros captados, protocolos usados, energía de alimentación, así como sus modelos de alarma y tiempos de respuesta; esto con el fin de poder analizar las ventajas y diferencias que puede llegar a presentar la aplicación.
- Posteriormente, al fabricar el módulo de las habitaciones inteligentes y su interconexión frente al robot para la planificación de procesos de desinfección en ambientes interiores, se estudia la fiabilidad del sistema frente a los eventos preestablecidos, que debe cumplir satisfactoriamente, generando las salidas del sistema estipuladas para cada caso en específico, como lo es la generación de alarmas, conteo de personas y sensado de parámetros como el estado de la puerta en esa habitación. Allí se desarrolla, un cuadro conceptual que registre el comportamiento del módulo frente a diferentes relaciones de consulta/respuesta que atañen a los objetivos principales del proyecto, con el interés de radicar las bases del funcionamiento modular del sistema.
- También se incluye el proceso que permite estimar el tiempo requerido para que el sistema genere una representación virtual del evento, ya sea para generar alarma por interrupción de procesos de desinfección o incumplimiento de normas de bioseguridad, esta estimación se basa en la Ecuación 3.1, en búsqueda de la estimación de un tiempo óptimo en el que se debe

activar la alarma, para alertar a las personas presentes, sin estar propenso a daños; la ecuación involucra los siguientes parámetros:

- Tiempo transcurrido entre el suceso y la transmisión de la información del sensor ( $t_{descubrimiento}$ ).
- Rango de tiempo entre dicha detección y su almacenamiento en el nodo orquestador ( $t_{registro}$ ), indicando una variación en el entorno sensado.
- Tiempo que transcurre para generar la alerta, mediante la etapa de alarma y volver a un estado de descanso ( $t_{despliegue}$ ).

$$t_{virtualizacin} = t_{descubrimiento} + t_{registro} + t_{despliegue} \quad (3.1)$$

- Relacionado con los dos métodos anteriores para estimación de un correcto desempeño de la tecnología, se ejecuta un estudio que evalúe la fiabilidad de la comunicación entre el módulo de habitaciones inteligentes y el robot; allí se dispondrá de eventos preestablecidos desarrollados en el entorno de simulación, donde la información entrante al nodo orquestador, se transmita bajo los tópicos adecuados para la petición de requerimientos de desinfección; permitiendo consignar después de múltiples intervenciones del módulo, una relación en que ambas secciones del sistema están expectantes a la información que brinda su contra parte.
- Al contener esta información de editores y suscriptores en el entorno de simulación, frente a los parámetros que maneja tanto el robot de desinfección como el módulo inteligente, se evalúa un proceso de desinfección preestablecido para dos salas, publicando contiguamente los requerimientos, para que en un intervalo de tiempo en el que ya se está ejecutando la trayectoria de desinfección, se adicione un requerimiento imprevisto que se solicita por parte de una tercera habitación; esto va a permitir estimar los tiempos en que: el robot se encarga previamente de las labores recibidas con anterioridad, así como el tiempo que le toma al evaluar la prioridad del llamado y reconfigura la ruta de navegación.
- Adicional a ello, ya validada la conexión entre ambas partes del proceso de desinfección, módulo y robot móvil, se evalúan las estrategias de desinfección, con base en tres recorridos puntuales, zigzag, espiral y cuadrado, que puede realizar el robot durante la esterilización del ambiente; al realizar cada uno de los procesos, se puede estimar mediante el registro de sus tiempos de desinfección, la estrategia más eficiente en términos de agilidad en el desarrollo de las estrategias planteadas para el proceso de limpieza de espacios interiores. Ligado a ello, se registra el proceso de desinfección con la inclusión de un marcador que llevará el registro de la aspersión del desinfectante a lo largo de la trayectoria que se esté evaluando, zigzag, espiral y cuadrado, percibiendo la estrategia que abarca o permite cubrir

la mayor área en la habitación ejecutando cada estrategia, frente al trayecto específico que se le ordena al robot móvil desinfectar; por lo que estos dos parámetros permiten evaluar de buena manera, la estrategia de planificación de procesos de desinfección planteada.

- Finalmente, estas múltiples interacciones que gestionan la correcta ejecución de tareas de desinfección, gracias al robot móvil que centra sus características en la navegación del entorno simulado, se puede propiciar la simulación que contiene todas las secciones de metodología, permitiendo evidenciar el uso de los parámetros que utilizan las habitaciones inteligentes para el monitoreo de ambientes, así como las estrategias de planeación de procesos que permiten gestionar la ruta y aplicar estrategias convenientes en el proceso de desinfección, y conllevando a una navegación segura y fiable del robot bajo el contexto de un entorno simulado.

## Capítulo 4

# Resultados y Discusión

En esta sección, se exponen los resultados derivados de la metodología propuesta para la elaboración de componentes, estrategias y entornos, que permitan aglomerar sus funcionalidades en el producto final; se expone el funcionamiento y aplicación del módulo para habitaciones inteligentes, la estrategia generada para la planificación de procesos de desinfección, así como el desarrollo e inmersión de todo el sistema en un entorno simulado desarrollado para la ejecución de diferentes estudios sobre el comportamiento de todo el sistema frente a eventos que se plantea solventar con esta tecnología; de igual manera, se genera un análisis detallado de los procesos implicados en cada sección del sistema, permitiendo exponer valores característicos del mismo así como las capacidades y mejoras que maneja el proyecto; las múltiples evaluaciones expuestas en la metodología, propician el análisis y valoración, de todas las funciones que dispone la tecnología desarrollada.

### 4.1. Resultados de funcionamiento

En esta subsección, se presentan todos los entregables que basan su concepción en la descripción del funcionamiento del sistema, evidenciando de manera más precisa cada interacción que realizan y esclareciendo sus mecanismos de operatividad de manera real.

#### 4.1.1. Funcionamiento del módulo para habitaciones inteligentes

La elaboración de la tarjeta integrada a la *Raspberry Pi 4*, se generó para propiciar un correcto acople de los diferentes elementos que la componen, obteniendo las propiedades de la *Raspberry*, sobre codificación de los parámetros sensados, así como la transmisión de su información; por ello se evidencia en la Figura 4.1, la tarjeta ya elaborada y el acople con algunos de los sensores que se utilizarán mas adelante para la simulación de tareas y requerimientos; adicional

a ello se evalúa la operatividad de cada uno de los sensores, bajo la concepción de utilidad que presenta cada uno de ellos, como se ve en el ejemplo de la Figura 4.2, en el cual se prueba el sistema de alarma, buzzer, junto con la condición del estado de la puerta, gracias al switch magnético incorporado; permitiendo estos chequeos acoplar los demás materiales a la tarjeta y aportando en su funcionamiento. cabe resaltar que estas figuras se evidencian sin contener la carcasa adecuada para su encapsulamiento, debido a la posibilidad de incorporar más elementos al módulo para su posterior aplicación en un entorno real.

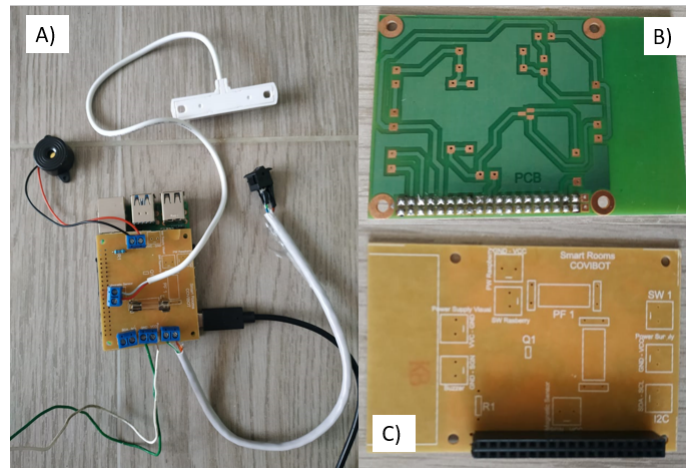


Figura 4.1: Resultado final de la tarjeta planteada y mandada a desarrollar, para su acoplamiento en la *Raspberry Pi 4*, visualizando (a) el acople que se genera a la tarjeta y la incorporación de demás elementos, como sensores y alarmas, (b) interconexión entre los terminales que irán acoplados a la tarjeta secundaria implementable, (c) tarjeta secundaria implementable con sus respectivas plantillas.

De acuerdo con la finalidad de integrar los módulos, físicos como simulados, a las habitaciones virtuales, se obtiene la edición de tópicos, por parte de los mecanismos de alarma y sensado predispuestos en la tarjeta, que mediante la operatividad del nodo orquestador, habilitará los tópicos encargados de dictaminar el estado de la puerta, el número de personas y el estado de desinfección de la sala, para cada uno de estos módulos, de manera virtual o física (módulo desarrollado), supervisando de manera continua los parámetros que registren cada uno de los módulos activos en las habitaciones del entorno simulado; en la Figura 4.3, se evidencia el planteamiento descrito, en el cual se activan unas habitaciones (room1, room2, room3, room4) y sus respectivos tópicos para publicar información en caso de presentar anomalías, favoreciendo la monitorización de estos parámetros.

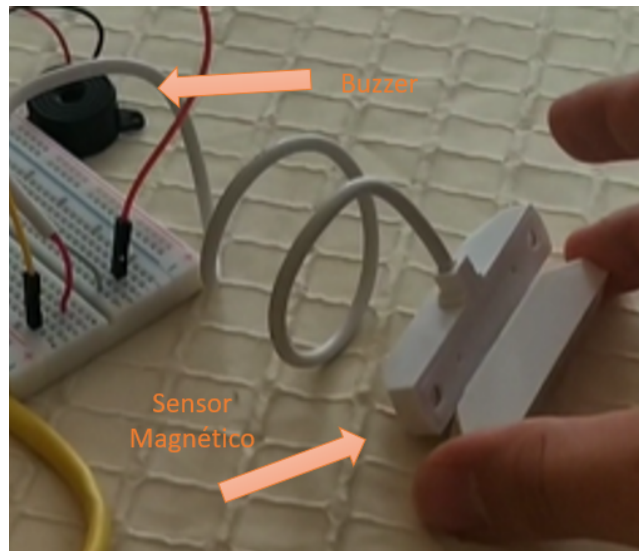


Figura 4.2: Ejemplificación de pruebas, anteriores al acoplamiento de sensores y demás elementos que requiere la tarjeta adicional para su funcionamiento, en pro de verificar su funcionalidad individual, en este caso se presenta la prueba del sensor magnético y el buzzer, para el sistema de alarma.

```

orchestrator (~/smart_rooms_ubuntu2/orchestrator.py)
ROS_MASTER_URI=http://localhost:11311
process[orchestrator-1]: started with pid [17240]
[INFO] [1606011064.787532, 0.000000]: Starting Sensors Acquisition
[INFO] [1606011064.844396, 0.000000]: Orchestrator Monitoring: ['room1', 'room2',
'room3', 'room4']

```

Activación módulo habitaciones

```

/navsat/fix/position/parameter_descriptions
/navsat/fix/position/parameter_updates
/navsat/fix/status/parameter_descriptions
/navsat/fix/status/parameter_updates
/navsat/fix/velocity/parameter_descriptions
/navsat/fix/velocity/parameter_updates
/navsat/vel
/odometry/filtered
/particlecloud
/room1/magnetic_sensor_state
/room1/people_number
/room1/status
/room2/magnetic_sensor_state
/room2/people_number
/room2/status
/room3/magnetic_sensor_state
/room3/people_number
/room3/status
/room4/magnetic_sensor_state
/room4/people_number
/room4/status

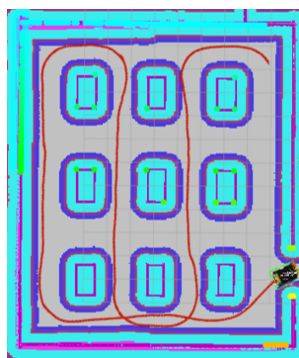
```

Activación tópicos de cada módulo

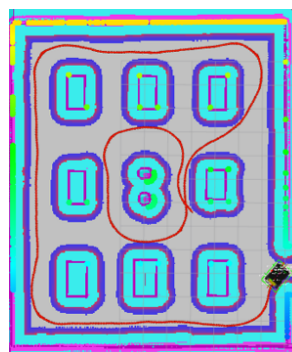
Figura 4.3: Terminal que representa el desarrollo de la activación de salones que cuentan con el módulo de habitaciones inteligentes, incluyendo su posterior inclusión de tópicos en el sistema general propuesto, para su interacción bajo la revisión del nodo orquestador.

#### 4.1.2. Funcionamiento de la estrategia de planeación y ejecución de procesos de desinfección

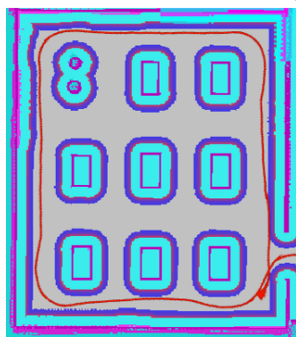
En relación a los trayectos establecidos para que la navegación del robot, sea redireccionada con base a esos requerimientos, se presentan las tres rutas definidas en las cuales el robot puede recorrer el salón: ZigZag, Espiral y Cuadrada; para una mejor comprensión de estos conceptos, la Figura 4.5, expone individualmente el trecho cubierto del robot en una habitación, marcador rojo que resalta el movimiento del robot, lo que conlleva a obtener las imágenes bajo la estructuración en puntos específicos del salón, para cada uno de los tres procesos de movilidad; Figura 4.4a característica de ZigZag, 4.4b movimiento en forma de espiral y 4.4c generando su recorrido de manera cuadrada.



(a) Trayecto elaborado por el robot con base en la estrategia de navegación en zigzag.



(b) Trayecto elaborado por el robot con base en la estrategia de navegación en espiral.



(c) Trayecto elaborado por el robot con base en la estrategia de navegación cuadrada.

Figura 4.4: Ejecución de las diferentes trayectorias que se definieron bajo el protocolo de procesos de desinfección, (a) recorrido Zigzag, (b) recorrido espiral y (c) recorrido cuadrado, en espacios interiores.



Esta simulación de habitación, permite aplicar el recorrido del robot de manera virtual, acoplando otras distribuciones de aulas de clase, con la variación de los diferentes elementos en su interior, asegurando variedad en la composición de estos ambientes, proyectado a las características que puede llegar a encontrarse el robot bajo un ambiente aplicado real en una institución; debido a ello se adjuntan múltiples mundos elaborados mediante *Gazebo*, para estructurar el entorno aplicable para el robot en simulación, como se evidencia en la Figura 4.5a; partiendo de estipular la numeración establecida para cada salón, generando identificaciones que van desde el 1 hasta el 6, favoreciendo la distinción de zonas y promoviendo un mejor marco de referencia para la navegación del robot por dicho medio, limitando los problemas derivados de equivocarse la ruta para cada salón; su denominación está dada por la palabra *room* y la numeración establecida, ejemplo *room4*.

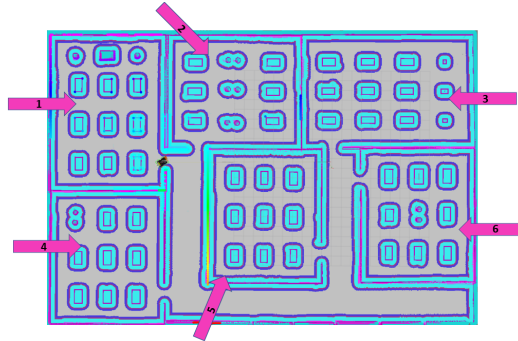
### 4.1.3. Funcionamiento del entorno simulado

Con base en el desarrollo y puesta en ejecución del entorno virtual que permite acoplar todos los sistemas y estrategias elaborados, se evidencia como primera medida, Figura 4.5b, el ambiente creado; en búsqueda de una caracterización de aulas de clase, que permita a su vez proponerle retos al entorno de navegación, con diferentes características que contenga, así como la compilación de múltiples salones, favoreciendo la visualización de las tareas de desinfección que llevará a cabo el robot móvil.

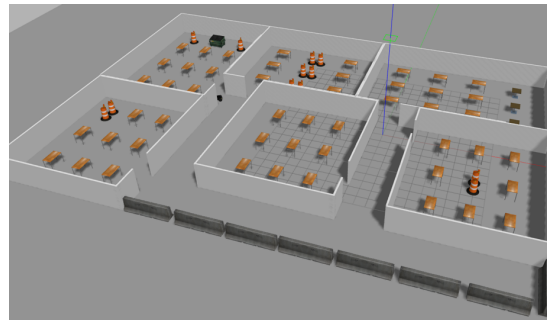
A partir de allí, se interconectan todos los procesos requeridos para navegación, desinfección y monitorización, inmersos en el entorno simulado, adquiriendo información de módulos de habitaciones inteligentes, ejecución de protocolos de desinfección, así como la movilidad del robot por el ambiente. Para ello, el nodo de desinfección debe establecer conexión con los nodos encargados de control del robot y listado de requerimientos, propendiendo por la comunicación entre administradores de tareas, esta verificación se certifica evaluando el estado del nodo de desinfección, como se visualiza en la Figura 4.6.

Una vez están interconectados los nodos administradores de los procesos globales del sistema, se puede reproducir un requerimiento de manera simulada, para que en el cronograma de trabajo del robot incluya la desinfección de un aula en especial; por lo cual se usa un mensaje de petición que solicita información acerca de la identificación del lugar al cual se le busca realizar la desinfección, es decir, determinar el número de salón, ejemplo *room4*, refiriéndose a una solicitud del aula número 4; así como el método de desinfección que se pretende aplicar allí, hasta el tipo de trayectoria que se quiere ejecutar al momento de entrar a la sala, ejemplo Figura 4.7.

A partir de allí, el organizador de desinfección, encargado de suministrar la información necesaria al robot para su movilización, registra continuamente el cumplimiento de esta tarea de desinfección por parte del robot móvil, al exponer los puntos específicos de la habitación por los cuales el administrador del robot indica el cumplimiento del recorrido específico para dicha trayectoria en el ambiente interior; de igual manera el administrador de requerimientos



(a) Establecimiento de manera conjunta de la numeración que dispondrán las habitaciones para su manejo y ubicación dentro del entorno simulado.



(b) Simulación, por medio de *Gazebo*, del entorno final elaborado, donde se desarrollará todo el sistema acoplado.

Figura 4.5: Visualización del entorno de simulación, acerca de (a) la numeración dispuesta para las habitaciones, así como (b) el entorno final elaborado mediante *Gazebo*.

```

./ /home/camilo/catkin_ws/src/smart_rooms/smart_rooms_disinfection/launch/disinfection_managers.launch http://localhost:11311 115x16
ROS_MASTER_URI=http://localhost:11311

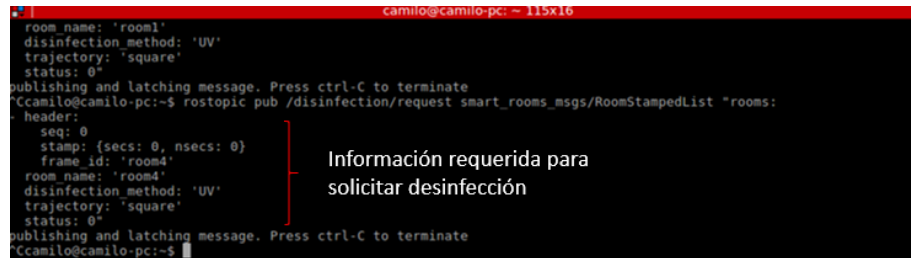
process[robot_manager-1]: started with pid [16142]
process[request_manager-2]: started with pid [16143]
[INFO] [1605981703.546877, 0.000000]: [robot_manager] Starting node
[INFO] [1605981703.897468, 2550.284000]: [robot_manager] Configuration OK
[INFO] [1605981703.901532, 2550.285000]: [robot_manager] Connected to move base server
[INFO] [1605981704.335411, 0.000000]: [request_manager] Starting node
[INFO] [1605981704.423471, 2550.545000]: [request_manager] Configuration OK
[Errno 2] No such file or directory: '/home/camilo/catkin_ws/src/smart_rooms_disinfection/config/room5.csv'
Traceback (most recent call last):

```

Conexión con administradores

Figura 4.6: Terminal que permite visualizar la conexión entre nodos administradores encargados de labores de desinfección, administración de solicitudes, peticiones de esterilización y administración de rutas de navegación para llegar a destino.

expone el cumplimiento de la labor, al superar estos puntos de verificación en el aula, como se evidencia en la Figura 4.8.

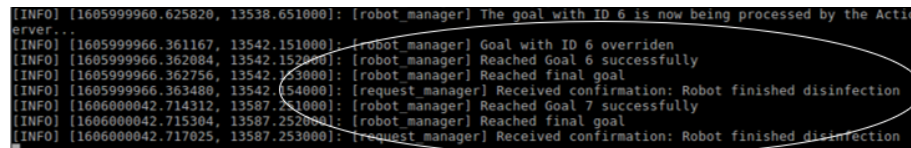


```
camilo@camilo-pc: ~ 115x16
room_name: 'room1'
disinfection_method: 'UV'
trajectory: 'square'
status: 0
publishing and latching message. Press ctrl-C to terminate
camilo@camilo-pc:~$ rostopic pub /disinfection/request smart_rooms_msgs/RoomStampedList "rooms:
header:
seq: 0
stamp: {secs: 0, nsecs: 0}
frame_id: 'room4'
room_name: 'room4'
disinfection_method: 'UV'
trajectory: 'square'
status: 0
publishing and latching message. Press ctrl-C to terminate
camilo@camilo-pc:~$
```

Información requerida para solicitar desinfección

Figura 4.7: Terminal que permite la visualización de la elaboración de un tópico que permita solicitar un proceso de desinfección en una habitación en específico.

En relación al contenido de la Figura 4.8, se centraliza la visualización de una terminal manejada por el administrador de desinfección del sistema, en el momento en que recibe la petición de limpieza, dispone de un objetivo, acerca del recorrido para ingresar a descontaminar en la habitación con identificación número 6 y a medida que complete dicho proceso se va a publicar un tópico que el administrador va a identificar como evidencia del cumplimiento de ese objetivo que se le impuso previamente.



```
[INFO] [1605999960.625820, 13538.651000]: [robot_manager] The goal with ID 6 is now being processed by the Action
erver...
[INFO] [1605999966.361167, 13542.151000]: [robot_manager] Goal with ID 6 overridden
[INFO] [1605999966.362884, 13542.157000]: [robot_manager] Reached Goal 6 successfully
[INFO] [1605999966.362756, 13542.153000]: [robot_manager] Reached final goal
[INFO] [1605999966.363400, 13542.154000]: [request_manager] Received confirmation: Robot finished disinfection
[INFO] [1606000042.714312, 13587.251000]: [robot_manager] Reached Goal 7 successfully
[INFO] [1606000042.715304, 13587.253000]: [robot_manager] Reached final goal
[INFO] [1606000042.717025, 13587.253000]: [request_manager] Received confirmation: Robot finished disinfection
```

Figura 4.8: Visualización de la recepción, por parte del nodo encargado de gestionar las peticiones y tomar la decisión de transmitirle dicha información al robot para la ruta de navegación a elaborar.

Estas dos características permiten validar la posibilidad de gestionar la ruta de desinfección del robot, así como recalcar la ejecución, de acuerdo a registro, de los procesos de desinfección, aprobando la información suministrada mediante el entorno simulado y la visualización de la ruta consecuentemente elaborada del robot móvil para llegar a la ubicación especificada para la generación de tareas de limpieza. Finalmente se puede visualizar la compilación de todos los nodos y tópicos que requieren de su ejecución para que el entorno simulado permita la operatividad de todas las secciones del proyecto, favoreciendo la comunicación entre sí; allí se visualizan tópicos importantes como el *disinfection/request*, encargado de recibir la información, por parte del nodo orquestador, de las habitaciones que requieren proceso de desinfección, llevándolo a la planeación del robot para orientar su camino de limpieza, Figura 4.9, así como la visualización

de los administradores del robot móvil y los requerimientos previstos, expuestos anteriormente.

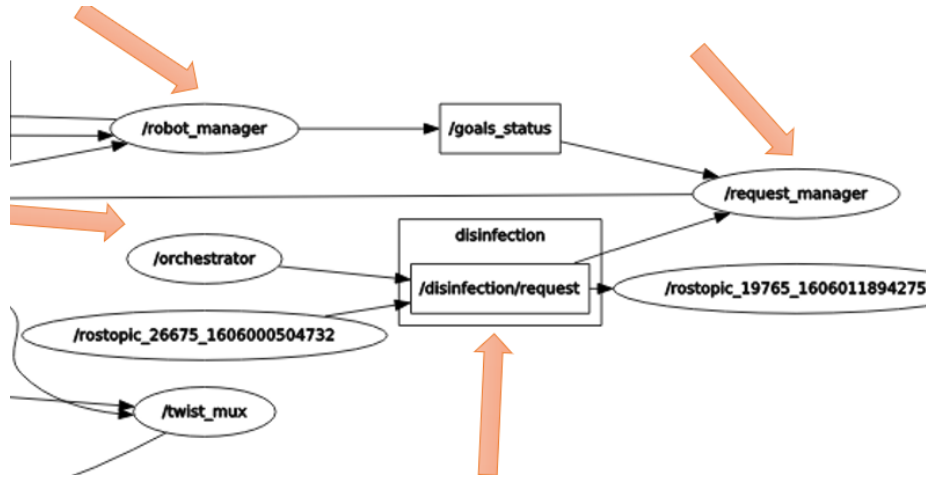


Figura 4.9: Estructura general de como los nodos y tópicos estarán involucrados en la funcionalidad del entorno de simulación, remarcando la comunicación y operatividad centrada en los administradores de desinfección, navegación y requerimientos, para que con apoyo del orquestador se realice la planeación de desinfección.

## 4.2. Resultados de pruebas desarrolladas en el sistema

Como primera medida se realizan múltiples consultas, de los entornos y sistemas que comprende el proyecto, evidenciando muy específicamente el comportamiento de cada uno de los elementos que la componen, donde se tiene casos como el de la verificación del estado de la puerta, el cual propicia la edición de un tópico para sugerir la desinfección de la sala, así como otros módulos simulados de manera virtual, que permiten alterar el conteo de personas para propender a la evaluación, de que dicho requerimiento incide en la trayectoria que está ejecutando el robot; estos y demás requerimientos fueron probados, describiendo su proceso de consulta/respuesta, expuestos organizadamente en la Tabla 4.1.

Posterior a ello, se valida el comportamiento del módulo, bajo el tiempo requerido para dictaminar un evento de manera virtual, es decir, tiempo de virtualización del evento; el registro de este intervalo se realizó mediante el estudio de la grabación del entorno simulado en ejecución, en el cual se permite visualizar el momento de registro del evento internamente, interacción de tópicos

Paso No.	Acción	Respuesta esperada del sistema	Cumple	Comentarios
1	Cambio en el estado de la puerta (apertura/cierre) mediante la adquisición de datos por parte del switch magnético	El sensor debe estimular una alerta auditiva en caso de interrupción en la sala, así como la publicación de un tópico indicando el cambio de estado en la habitación	Si	El switch magnético operando en el entorno físico permite registrar la alarma auditiva tras la apertura de la puerta y en el entorno simulado permite la publicación en el tópico designado para tal fin.
2	Registro de la cantidad de personas en la habitación, por medio de sensores infrarrojos	Los componentes deben sensar la cantidad de personas que ingresa a la habitación, evaluando si existe una cantidad considerable de personas (20) dentro, gestionando la ejecución de una alarma auditiva y la publicación en su tópico respectivo para solicitar desinfección.	No	Los sensores infrarrojos no se acoplaron al módulo físico, debido a la disposición de la tarjeta secundaria implementable y la necesidad de utilizar dos sensores para el algoritmo de conteo; de igual manera se incorpora los datos de esta variable de manera manual en el entorno simulado, verificando la comunicación oportuna entre este tópico y el nodo orquestador.
3	El robot debe alterar su ruta de desinfección al suscribirse a la solicitud de requerimientos generados por los sistemas que componen el módulo de habitaciones inteligentes	El robot debe estar continuamente suscribiéndose al tópico de requerimiento de desinfección, en caso de tener una nueva entrada, ejecutar una nueva ruta de desinfección	Si	El robot se comunica de manera oportuna con el nodo orquestador, ejecutando completamente todas las peticiones recibidas para desinfección
4	Ejecutar la simulación de desinfección, encaminando al robot para ingresar en una habitación e irradiar de manera simulada el método de desinfección propuesto mediante UVc	El robot una vez ingresando al aula, debe empezar a generar la simulación de desinfección, demarcando un perímetro cercano al paso del robot, evidenciando dicho proceso	Si	El robot cumple con el requerimiento de solo irradiar las zonas demarcadas como habitaciones, así se puede asegurar un método seguro de desinfección.

Tabla 4.1: Comportamiento de cada interacción relevante de la cual se compone el sistema, describiendo su desempeño de manera cualitativa, así como las observaciones registradas de su proceso.

y ejecución de la labor solicitada; este valor se encuentra enmarcado bajo la inclusión de tres valores que se pueden estimar, ciclo en el cual se genera el descubrimiento del evento o *Discovery*, de igual manera se chequea el tiempo de registro, generando la publicación en el tópico correspondiente para realizar la solicitud de desinfección o *Registry*, así como el ciclo en el cual el nodo vuelve a encontrarse en reposo posterior al envío de la información, obteniendo un valor aproximado de medio segundo (50 milisegundos [ms]) o *Deploying*; la Tabla 4.2, presenta seis ejecuciones o pruebas de un mismo requerimiento de desinfección y sus tiempos captados dentro de la simulación, atendiendo a estos tres valores requeridos para estimar la virtualización del evento, bajo la misma referencia de unidades.

<b>Tiempo</b>	<b>P1[s]</b>	<b>P2[s]</b>	<b>P3[s]</b>	<b>P4[s]</b>	<b>P5[s]</b>	<b>P6[s]</b>	<b>Promedio[s]</b>
Discovery	0.91	0.87	0.81	0.70	0.91	0.90	0.85
Registry	0.26	0.21	0.45	0.46	0.66	0.57	0.43
Deploying	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Total							1.78

Tabla 4.2: Tabla compuesta de los valores registrados, mediante grabación de la ejecución de una tarea específica de desinfección, para la estimación de tiempos requeridos para la composición del evento virtual; descrito mediante pruebas (P) que parten desde el 1 hasta el 6.

Es por ello que se estima la duración del procesamiento interno de la variable sensada en el ambiente, llamada evento, con un promedio de un segundo setenta y ocho milisegundos (1'78"), de acuerdo a las pruebas simuladas; indicando que la variación de estos ciclos, en escala de ms, esclarece la rapidez del sistema, siendo requerimiento necesario en el caso específico de monitorear ambientes de manera segura; este tiempo permite dictaminar que el módulo presente en la habitaciones inteligentes, es capaz de advertir en tiempo real los eventos que surgen en dicho espacio interior.

Uno de los ítems para evidenciar la comunicación del módulo de habitaciones inteligentes con el robot, es la publicación de tópicos mediante la alteración del sensor magnético y de igual manera alterar le valor de personas registradas en la habitación que se quiera generar la prueba; es por ello que por medio de los mensajes que se transmiten hacia el nodo orquestador, se altera o cambia el parámetro de publicación del nodo, en su variable x, que para el aula específica, se altera la ocupación de la sala a 20 personas, Figura 4.10, provocando que seguido de la detección de un cambio en el sensor magnético, variable convertida de 0 a 1, se convoque a una desinfección de emergencia por parte del nodo orquestador, derivado del incumplimiento de las normas de bioseguridad; allí el nodo orquestador se encarga de publicar información en el tópico de requerimiento de desinfección para que el robot pueda adquirir esos datos y empezar a generar la ruta de navegación, como se evidencia en la Figura 4.10, generando una petición y posterior agendamiento de desinfección en la habitación identificada con ese ID del tópico que publico la información, así como el método que va a realizar

a interior de esa habitación el robot móvil.



```
camilo@camilo-pc: ~$ rosrun
seq: 0
stamp:
  secs: 0
  nsecs: 0
  frame_id: 'room1'
point:
  x: 25.0
  y: 0.0
  z: 0.0
publishing and latching message for 3.0 seconds
camilo@camilo-pc:~$ rostopic pub -1 /room1/magnetic_sensor_state geometry_msgs/PointStamped "header:
seq: 0
stamp:
  secs: 0
  nsecs: 0
  frame_id: 'room1'
point:
  x: 1.0
  y: 0.0
  z: 0.0
publishing and latching message for 3.0 seconds
camilo@camilo-pc:~$ rostopic pub -1 /room1/people_number geometry_msgs/PointStamped "header:
seq: 0
stamp:
  secs: 0
  nsecs: 0
  frame_id: 'room1'
point:
  x: 20.0
  y: 0.0
  z: 0.0
publishing and latching message for 3.0 seconds
Alteración tópico conteo de personas

camilo@camilo-pc:~$ rostopic echo /disinfection/request
header:
  seq: 0
  stamp:
    secs: 0
    nsecs: 0
  frame_id: "room1"
room name: "room1"
disinfection method: "UV"
trajectory: "spiral"
status: 0
Generación de un requerimiento
para desinfección
```

Figura 4.10: Terminal que permite visualizar la gestión de modificación de los parámetros monitorizados en las habitaciones inteligentes simuladas; así como la recepción, por parte del nodo de desinfección, de las peticiones de limpieza determinadas por estos módulos, en pro de administrar la información relevante para un nuevo trayecto de desinfección por parte del robot móvil.

Para la comprensión de los tópicos administrados al sistema en la Figura 4.10, se expresa la definición e importancia que posee publicar mensajes que contengan información de la ocupación de la sala, es decir cantidad de personas reunidas allí; se solicita la identificación de la habitación (respecto a la numeración establecida en metodología), así como la modificación del parámetro x, que va a indicar el número de personas que se registraron, mediante la simulación del conteo de personas; a partir de allí se evalúa el peso de esta necesidad y se publica en el tópico de desinfección.

Adicional a ello, se ejecuta la simulación de un caso específico, en el que se plantea comparar el recorrido de navegación al ser comandado por el nodo orquestador, o sin él, generando un trayecto estipulado, desinfección de aula 4 seguida del aula número 2 y finalmente atendiendo al requerimiento de la habitación número 3; el caso a comparar es empleando el nodo orquestador que permite propiciar la desinfección de un aula que ha sido irrumpida o viola los protocolos de bioseguridad, alterando la ruta de navegación, se estima los tiempos del transcurso de la prueba para ambos casos, contenidos en la Tabla 4.3, en el cual se evidencia un tiempo menor de ejecución de la tarea siguiendo una ruta específica y posteriormente atendiendo al llamado de desinfección, por lo que se puede determinar que la distancia entre la ubicación del robot y los próximos salones a desinfectar, son parámetros necesarios que el nodo orquestador debe adquirir para mejorar el proceso de planeación de la ruta de navegación; sin embargo el valor tomado posterior a la implementación del nodo orquestador, no conserva una brecha tan grande de retraso en el proceso de desinfección, caso que tiene incorporado el nodo orquestador, estimando tiempos disponibles para realizar el proceso, por lo que si dispone de un tiempo suficiente para la ejecución de todas las solicitudes, puede proceder sin ningún contratiempo en la

trayectoria que determine. La velocidad promedio a la cual se moviliza el robot para desinfectar una habitación es de 2,4 kilómetros por hora (Km/h).

Parámetro \ Tipo de ruta	Trayectoria fija	Trayectoria variante
Tiempo	5.15 minutos	5.39 minutos
Distancia	201.74 metros	215.05 metros
<b>Velocidad promedio</b>	2.37 km/h	

Tabla 4.3: Tabla proceso de evaluación del nodo orquestador y el reordenamiento de la ruta de desinfección, cumpliendo con requerimientos establecidos para ambos casos, trayectoria y luego evento, así como para trayectoria y evaluación de eventos.

Complementando esta información, se presenta la Tabla 4.4, en la cual se realiza, la trayectoria específica de navegación, para la desinfección de la habitación 1 (*room1*), seguido de la desinfección de la habitación 2 (*room2*); al contar con el recorrido establecido, se simula la estrategia de desinfección bajo las tres modalidades de ruteo al interior del aula, mediante zigzag, espiral y cuadrado; obteniendo los tiempos que comprende desinfectar las habitaciones de esta manera; así se puede evaluar de igual forma el proceso que conlleva cada una de las estrategias aplicada para el movimiento dentro del salón; evidenciando que el método espiral es el que requiere de mayor disponibilidad de tiempo para su ejecución; cabe resaltar que estos valores están determinados por la evaluación de tiempos durante la desinfección en la habitación únicamente, no incluyen como en tablas anteriores, el trayecto o camino hacia el nuevo objetivo.

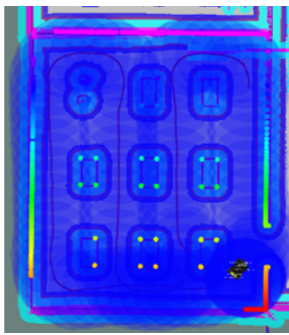
Medida	Habitación	Cuadrada[ <i>min</i> ]	Espiral[ <i>min</i> ]	Zigzag[ <i>min</i> ]
Tiempo	Room 1	1.32	2.46	2.00
Distancia	Room 1	50.40	88.65	76.77
Tiempo	Room 2	1.20	1.46	1.79
Distancia	Room 2	45.11	58.56	68.10
<b>Tiempo</b>	<b>Desinfección</b>	<b>Promedio</b>	1.71 minutos	

Tabla 4.4: Tabla de tiempos y distancias requeridos para completar la ruta de desinfección con base en las tres trayectorias establecidas, zigzag, espiral y cuadrada; permitiendo comparar la duración de estos procesos.

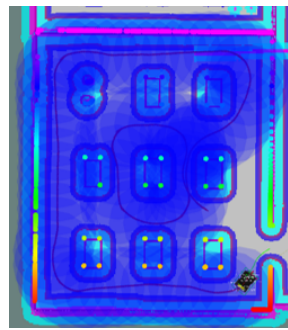
En relación a la ejecución de la desinfección de los ambientes interiores, se realiza el caso específico de simulación para un salón determinado, el cual será recorrido, bajo las tres rutas permitidas para que el robot realice el proceso de limpieza en la zona, evidenciando mediante el uso de marcadores, el rango que abarca cada uno de estos trayectos en las superficies presentes en el aula, velando por el cumplimiento de la erradicación del patógeno, disminuyendo su tasa de contagio, es por ello que en la Figura 4.11, queda demostrado mediante estos marcadores de color azul, (bajo un mismo diámetro de la circunferencia que rodea el robot a lo largo de la trayectoria, ligado al objetivo de comparar



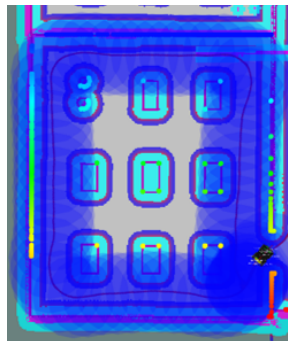
la cobertura de desinfectante en la sala, desvinculando un poco de los valores reales de aspersión que presentará el sistema de desinfección en un entorno real), que para el proceso mediante el uso de zigzag en su comportamiento, promueve una mayor cobertura de la zona objetivo, mientras que emplear la técnica de recorrer el entorno en forma de cuadrado, limita la acción de desinfección asolo algunas regiones del aula, siendo una desventaja y riesgo a la hora de llevar a cabo este método. Las características de desinfección abarcando el ambiente, tanto para ruteo en zigzag como espiral, es muy similar, considerando estos dos los procesos recomendables en la utilidad que se le da al robot en ambientes Covid-19.



(a) Desinfección implantada por el robot bajo el trayecto elaborado con base en la estrategia de navegación en zigzag.



(b) Desinfección implantada por el robot bajo el trayecto elaborado con base en la estrategia de navegación en espiral.



(c) Desinfección implantada por el robot bajo el trayecto elaborado con base en la estrategia de navegación en cuadrada.

Figura 4.11: Ejecución de la desinfección de ambientes interiores con base en las tres diferentes trayectorias que se definieron bajo el protocolo de procesos de desinfección, (a) recorrido Zigzag, (b) recorrido espiral y (c) recorrido cuadrado.

Ya enfocándose exclusivamente del análisis de los datos presentados en esta sección, se genera una breve comparación con artículos encontrados en la literatura y definidos como sistemas con características muy similares, en cuanto a inclusión de alertas y parámetros sensados; el sistema propuesto de monitorización de ambientes propicia la comunicación oportuna de parámetros captados mediante los sensores, como se evidenció en la prueba de validación de publicación de tópicos al simular una falta contra los protocolos de bioseguridad, es por ello que la comunicación descrita para alertar e informar de un evento adverso, cumple con lo establecido por *Budiarto*, que determina un tiempo menor a un minuto para que el sistema presente la información como un requerimiento que precisa atención[78], soportado también por la estimación de valores de tiempo en la virtualización de eventos, que requiere de dos segundos aproximadamente para contemplar la interacción registrada como un evento que debe ser comunicado al nodo encargado de administrar la desinfección, sin embargo el sistema en este apartado se encuentra bastante distante de los valores representados por *Martínez*, siendo un poco más del doble de tiempo que le requiere al sistema planteado por ellos para generar la representación virtual, valor de 641 ms, [67]; esto también puede ser consecuentemente ligado, a las múltiples tareas que debe elaborar el sistema propuesto, así como la regulación de que los valores presentados estén dentro de los valores permitidos en el entorno.

El sistema evaluado por medio de las diferentes funciones que lo constituyen, también se encuentra encaminado hacia los procesos desarrollados por *Raluchukwu*, que evalúa cada caso de estudio, con la activación de sensores y la información publicada de acuerdo a dichos valores [27]; tal es así que permite trasladar el enfoque a la activación de sensores con base en acciones que supone deben estar ligadas, en el caso del proyecto propuesto se elabora esta tabla incidiendo directamente en los sensores, evaluando la comunicación y traslado de la señal de manera correcta, así como la activación de alarmas y editores de manera interna.

Tal como *Kurniawan* expone en los resultados de su proyecto, se visualiza una terminal del dispositivo intermedio, encargado de la ejecución de sensado y publicación de parámetros, donde se certifica la hora de adquisición y los valores ingresados, para su posterior procesamiento [59], tal es así como se expone en este documento y se explica de manera detallada la función que cumple cada nodo y su suscripción a parámetros que se fueron variando a medida de la simulación, para valorar la función de los administradores de cada labor de desinfección, navegación, que propicie la respuesta a los datos ingresados.

## Capítulo 5

# Conclusiones y Trabajos Futuros

En esta sección se concreta los resultados y aspectos relevantes de la investigación, permitiendo esclarecer la capacidad del sistema para los objetivos propuestos, así como las metodologías empleadas para llegar a cada desarrollo; ya que, mediante la obtención de métricas se puede llegar a determinar el comportamiento del proyecto, en un entorno simulado para el caso. De igual manera, se incluyen los trabajos futuros planteados para continuar por esa línea de investigación, mejorando los mecanismos ya dispuestos y gestionando la elaboración de más tecnología, que favorezca la salud de las personas.

### 5.1. Conclusiones

Por lo siguiente, se pudo establecer la integración del sistema propuesto, generando una simulación en un entorno educativo virtual, donde se registra la comunicación de los diferentes nodos que operan bajo este contexto, facilitando las propiedades de cada uno de las secciones que componen el sistema. El sistema desarrollado permite ofrecer las propiedades de monitorización de ambientes Covid-19, ya que remite la detección de parámetros del módulo de habitaciones inteligentes desarrollado, como el estado de la puerta del aula, como factores simulados, número de personas presentes en la habitación, para favorecer la vigilancia y cumplimiento de todas las normas de bioseguridad, mitigando la propagación del virus; adicional a ello, se aplicó la planificación de procesos de desinfección estipulada al robot móvil, evaluando su desempeño en el proceso de simulación de diferentes tareas de desinfección bajo en entorno simulado.

El sistema de alarma dispuesto adicional a las condiciones de activación del mismo, logran satisfacer las expectativas acerca de la alerta en el medio en el que se encuentre inmerso el módulo para espacios interiores. La capacidad de activar y/o desactivar los módulos simulados, en cada habitación, permite ligarlo a un enfoque de operación en el cual el requerimiento o necesidad de

abarcar  $n$  sistemas, conllevará a la apertura o cierre de estos canales, previendo consumo adicional de energía o generación de falsos positivos en la organización del sistema.

En relación a los sistemas que propusieron las estrategias de desinfección, se puede resaltar la oportunidad que se brinda, al conocer dimensiones y distribución del salón, para parametrizar ciertas zonas de interés, favoreciendo la navegación del robot móvil; las trayectorias estipuladas se realizan con total normalidad, cumpliendo con la localización del robot en los lugares deseados.

En cuanto a la ejecución del entorno simulado, se pudo certificar la correcta comunicación entre el nodo encargado de la gestión de desinfección, con los nodos de navegación para las estrategias de desinfección, así como el nodo que determina los valores de las habitaciones inteligentes. Así mismo este entorno permitió simular una petición de desinfección y se logró visualizar su correcta ejecución bajo el comando del nodo orquestador, en donde se representaba las tareas que iba realizando el robot durante su trayecto; la inclusión de parámetros como tipo de ruta que aplicará el robot al llegar allí, permite personalizar en un mayor grado, las solicitudes que se realicen a la hora de la desinfección, desligando su condicionamiento a una planificación rígida.

En cuanto a las pruebas ejecutadas, si bien se expuso que las relaciones de consulta/respuesta están determinadas por la evaluación individual de cada proceso, la ejecución de esta práctica favoreció el posterior acople de elementos y entidades, con la fiabilidad de su desempeño acorde a la respuesta esperada de cada uno; se brindó nuevos enfoques ligados a la concepción de cada una de esas ideas aplicables al proyecto, como lo es el ingreso de los valores por simulación, de algunos parámetros como el conteo de personas.

La estimación del ciclo requerido para la virtualización del evento, favorece la indagación de pautas para constituir un sistema de sensado y alarma eficiente y oportuno, características vitales para el proyecto; por lo que la duración de esta etapa, es acorde y se permite bajo los rangos de comunicación entre las diferentes partes que constituyen el sistema, determinando que la comunicación se da bajo un tiempo real, adquiriendo las señales sin retrasos significativos para la ejecución de una decisión sobre su requerimiento de desinfección o activación de alarma auditiva.

La validación de la correcta administración de requerimientos de desinfección, permite asegurar que bajo los parámetros establecidos, de continuar con el protocolo de limpieza salvo un llamado, derivado de la variación de parámetros en los módulos de habitaciones inteligentes, incrementa la independencia del sistema y propicia su funcionamiento sin supervisión o con supervisión mínima de estos procesos; así como la autogestión que desarrolla todo el entorno para cumplir con los requerimientos, caso que sucede en la totalidad de las pruebas, llegando a desinfectar todos los eventos que tenga almacenados.

La evaluación de tiempos, con base en la estrategia de navegación, contando con la reestructuración de ruta bajo el principio de detección de algún otro requerimiento no establecido, permite evidenciar que la función del nodo orquestador está bien enfocada en disponibilidad de tiempo para acceder a las habitaciones, pero se debe robustecer con la inclusión de parámetros como la

distancia que encuentra el robot frente a diferentes peticiones de desinfección, mejorando los tiempos de ruta.

La ejecución de la simulación con las diferentes trayectorias dentro de las aulas, así como la dispersión del método de desinfección seleccionado, permiten evaluar las oportunidades y problemas que contiene cada uno de los trayectos; como se determinó la desinfección más rigurosa y de mayor cobertura es incluyendo el método zigzag, siendo que la intención de proponer estas tres opciones de recorrido, buscan permitir cierta libertad a la hora de estipular la estrategia de desinfección, relacionado de igual manera al disponibilidad horaria que posea el robot móvil, bajo el agendamiento de los requerimientos de desinfección.

Finalmente se logra concretar un sistema que cumple con los objetivos establecidos inicialmente en la investigación, que favorece entornos seguros y monitorizados del contexto de la pandemia del covid-19; esta simulación desarrollada va a permitir entender y poder interpolar a un entorno real, con caso de estudio en una institución educativa, de manera mucho más precisa y ágil gracias al proceso previo de visualizar el desenvolvimiento de la plataforma o sistema en el entorno simulado desarrollado en este trabajo.

## 5.2. Trabajos Futuros

En esta sección se describe el paso a seguir, posterior a la ejecución de estas metodologías planteadas para monitorización y planificación de estrategias de desinfección en ambientes Covid-19; se propone la construcción de diferentes sistemas que también potencien el desarrollo ya estructurado, así como la posibilidad de integrar más enfoques, en pro de mitigar la propagación del virus.

En cuanto al sistema global que corresponde a este proyecto, se debe robustecer el mecanismo de funcionamiento del módulo para habitaciones inteligentes, permitiendo implantar una tecnología más compacta en habitaciones reales, permitiendo sensar nuevas características del entorno y adquiriendo nuevas herramientas para estos módulos, como la adquisición de información acerca de un adecuado flujo de aire en el espacio interior; adicional a ello, se debe incorporar la carcasa de seguridad de la tarjeta, cerciorándose de su fácil acople en los ambientes interiores, que no solo se radicará en aulas de clase, sino también en oficinas y espacios públicos de la institución; luego de ello se puede diseñar un número significativo de módulos para su implementación en aulas de la universidad, verificando a su vez, la interconectividad que presentan entre ellos.

La integración del robot de desinfección es un paso fundamental para proyectar el impacto y realización de pruebas en la *Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito*, permitiendo visualizar el comportamiento del robot bajo un ejercicio real de ubicación y traslado por los pasillos disponibles, según los lineamientos propuestos de estrategias de desinfección, para ello se debe buscar primero desarrollar una simulación con métricas reales, escaladas en el entorno virtual, para adaptar el robot a estos lugares. Adicional a ello, se debe verificar el área abarcada por el método de desinfección seleccionado, para favorecer un proceso adecuado de descontaminación de los salones, se puede llegar a incluir

marcadores de radiación que favorezcan el registro de la longitud de onda que puede llegar a incidir en múltiples zonas del salón.

Se puede integrar otros sistemas de alerta que compongan la habitación inteligente, como la inclusión de sistemas visuales que indiquen, a la población que circula por allí, de los cuidados a la hora de ingresar a las aulas, así como de salones en donde esté restringido el ingreso debido a la activación de procesos de desinfección; también se puede adicionar sistemas ópticos que certifiquen la presencia del robot en la habitación o por otro lado, de la aparición de personas durante una reunión, garantizando la alternancia de los nodos funcionales del módulo, que delimite los parámetros sensados. En condiciones de funcionamiento se puede incorporar baterías o sistemas eléctricos que permitan desligar la dependencia del módulo frente a la red eléctrica para una versión más portátil. Por último se puede buscar alternativas de comunicación de datos, para evitar la incomodidad que presenta la instalación de un sistema conectado por cable, impulsando la implementación en otras zonas más complicadas en cuanto a la infraestructura y acceso que puede llegar a presentar para la inclusión del módulo en labores de monitorización.

# Bibliografía

- [1] World Health Organization, "Preguntas y respuestas sobre la enfermedad por coronavirus (COVID-19)", who.int, 2020. [Online]. Available: <https://www.who.int/es/emergencias/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/q-a-coronaviruses#:~:text=La%20enfermedad%20se%20propaga%20principalmente,y%20caen%20r%C3%A1pidamente%20a%20suelo.> [Accessed: 07- Sep- 2020].
- [2] Mutua Navarra, "El aire que respiramos. Ventilación de espacios interiores", Mutua Navarra, 2020. [Online]. Available: [https://www.mutuanavarra.es/2020/09/07/el-aire-que-respiramos-ventilacion-de-espacios-interiores/.](https://www.mutuanavarra.es/2020/09/07/el-aire-que-respiramos-ventilacion-de-espacios-interiores/) [Accessed: 08- Sep- 2020].
- [3] Ministerio de Salud de Colombia, "CORONAVIRUS (COVID-19)", Minsalud.gov.co, 2020. [Online]. Available: [https://www.minsalud.gov.co/salud/publica/PET/Paginas/Covid-19\\_copia.aspx.](https://www.minsalud.gov.co/salud/publica/PET/Paginas/Covid-19_copia.aspx) [Accessed: 06- Sep- 2020].
- [4] Global Heat Health Information Network, "Air conditioning and ventilation", Ghhin.org, 2020. [Online]. Available: <http://www.ghhin.org/heat-and-covid-19/ac-and-ventilation.> [Accessed: 09- Sep- 2020].
- [5] GTM, "INFORME del GTM sobre "COVID-19 EN ESPACIOS INTERIORES, EN PARTICULAR RESTAURANTES"", Ciencia.gob.es, 2020. [Online]. Available: [https://www.ciencia.gob.es/stfls/MICINN/Ministerio/FICHEROS/GTM\\_Restaurantes.pdf.](https://www.ciencia.gob.es/stfls/MICINN/Ministerio/FICHEROS/GTM_Restaurantes.pdf) [Accessed: 06- Sep- 2020].
- [6] H. Eslami and M. Jalili, "The role of environmental factors to transmission of SARS-CoV-2 (COVID-19)", AMB Express, vol. 10, no. 1, 2020. Available: [10.1186/s13568-020-01028-0](https://doi.org/10.1186/s13568-020-01028-0) [Accessed 31 July 2020].
- [7] Monsolar Ingenieros, "Influencia de las condiciones ambientales en la supervivencia del Coronavirus. Climatización y Ventilación -", Monsolar.net, 2020. [Online]. Available: [https://www.monsolar.net/influencia-de-las-condiciones-ambientales-en-la-supervivencia-del-coronavirus-climatizacion-y-ventilacion/.](https://www.monsolar.net/influencia-de-las-condiciones-ambientales-en-la-supervivencia-del-coronavirus-climatizacion-y-ventilacion/) [Accessed: 09- Sep- 2020].

- [8] M. Celina et al., "Extended use of face masks during the COVID-19 pandemic - Thermal conditioning and spray-on surface disinfection", *Polymer Degradation and Stability*, vol. 179, p. 109251, 2020. Available: [10.1016/j.polymdegradstab.2020.109251](https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2020.109251) [Accessed 30 July 2020].
- [9] D. Barcelo, "An environmental and health perspective for COVID-19 outbreak: Meteorology and air quality influence, sewage epidemiology indicator, hospitals disinfection, drug therapies and recommendations", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 8, no. 4, p. 104006, 2020. Available: [10.1016/j.jece.2020.104006](https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104006) [Accessed 31 July 2020].
- [10] Resolución 666, 24 de Abril de 2020. Ministerio de Salud y Protección Social. Colombia. Available: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-666-de-2020.pdf>
- [11] Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. Recomendaciones para empresas". [Online]. Available: <https://www.mincit.gov.co/prensa/medidas-para-mitigar-impacto-del-covid-19/como-enfrentar-el-covid-19/recomendaciones-para-empresas>
- [12] Resolución 1721, 24 de Septiembre de 2020. Ministerio de Salud y Protección Social. Colombia. Available: [https://www.minsalud.gov.co/Normatividad\\_Nuevo/Resoluci%c3%b3n%20No.%201721%20de%202020.pdf](https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%c3%b3n%20No.%201721%20de%202020.pdf)
- [13] C. Neiger, "11 Internet of Things Stats That Will Blow You Away", *Madison.com*, 2017. [Online]. Available: [https://madison.com/business/investment/markets-and-stocks/internet-of-things-stats-that-will-blow-you-away/article\\_1058f6eb-195e-5530-8c63-a7e4a169cbe2.html](https://madison.com/business/investment/markets-and-stocks/internet-of-things-stats-that-will-blow-you-away/article_1058f6eb-195e-5530-8c63-a7e4a169cbe2.html). [Accessed: 09- Sep- 2020].
- [14] "Informe europeo del uso del internet de las cosas (IoT) en Europa", *Tecnología para los negocios*, Cámara Valencia, 2018. [Online]. Available: <https://ticnegocios.camaravalencia.com/servicios/tendencias/informe-iot-asi-estan-las-cosas-en-europa/>. [Accessed: 08- Sep- 2020].
- [15] N. LATAM, "16 increíbles estadísticas que pronostican el futuro de Internet de las Cosas", *Microsoft - News Center Latinoamérica*, 2016. [Online]. Available: <https://news.microsoft.com/es-xl/16-increibles-estadisticas-que-pronostican-el-futuro-de-internet-de-las-cosas/>. [Accessed: 08- Sep- 2020].
- [16] A. Banafa, "Nine IoT Predictions for 2019 - IEEE Internet of Things", *IoT - IEEE*, 2018. [Online]. Available: <https://iot.ieee.org/newsletter/november-2018/nine-iot-predictions-for-2019>. [Accessed: 07- Sep- 2020].



- [17] D. López, "Pastillas inteligentes, audiómetros digitales y plataformas médicas, así es ya el IoT de la salud", Orange, 2019. [Online]. Available: <http://blog.orange.es/innovacion/pastillas-inteligentes-audiometros-digitales-y-plataformas-medicas-asi-es-ya-el-iot-de-la-salud/>. [Accessed: 06-Sep- 2020].
- [18] D. Newman, "Five IoT Predictions For 2019", Forbes, 2018. [Online]. Available: <https://www.forbes.com/sites/danielnewman/2018/07/31/five-iot-predictions-for-2019/#5a69a6806edd>. [Accessed: 09- Sep- 2020].
- [19] D. Fajardo, "IoMT: La nueva era de la salud orientada hacia los datos", La Tercera, 2018. [Online]. Available: <https://www.latercera.com/pulso/noticia/iomt-la-nueva-la-salud-orientada-hacia-los-datos/300319/>. [Accessed: 26- Sep- 2020].
- [20] Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia, "Nuevo Marco Reglamentario para la Telesalud en Colombia", Diciembre de 2019. [Online]. Available: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/OT/nuevo-marco-reglamentario-para-la-telesalud-en-colombia-18122019.pdf>. [Accessed: 03 Oct- 2020]
- [21] M. Shuwandy, B. Zaidan, A. Zaidan and A. Albahri, "Sensor-Based mHealth Authentication for Real-Time Remote Healthcare Monitoring System: A Multilayer Systematic Review", *Journal of Medical Systems*, vol. 43, no. 2, 2019. Available: 10.1007/s10916-018-1149-5 [Accessed 10 September 2020].
- [22] N. Mehmood, A. Hariz, R. Fitridge and N. Voelcker, "Applications of modern sensors and wireless technology in effective wound management", *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, vol. 102, no. 4, pp. 885-895, 2013. Available: 10.1002/jbm.b.33063 [Accessed 10 September 2020].
- [23] C. Tunca, H. Alemdar, H. Ertan, O. Incel and C. Ersoy, "Multimodal Wireless Sensor Network-Based Ambient Assisted Living in Real Homes with Multiple Residents", *Sensors*, vol. 14, no. 6, pp. 9692-9719, 2014. Available: 10.3390/s140609692 [Accessed 10 September 2020].
- [24] T. Banerjee, P. Chowdhury, S. Ghosal, S. Saha and R. Bandyopadhyay, "An Integrated Domestic Sensing and Control System with Supervisory Check and Real-Time Data Acquisition", *Advances in Intelligent Systems and Computing*, pp. 645-657, 2020. Available: 10.1007/978-981-15-2188-1\_51 [Accessed 10 September 2020].
- [25] Y. Zikria, M. Afzal and S. Kim, "Internet of Multimedia Things (IoMT): Opportunities, Challenges and Solutions", *Sensors*, vol. 20, no. 8, p. 2334, 2020. Available: 10.3390/s20082334 [Accessed 10 September 2020].

- [26] D. Raposo, A. Rodrigues, S. Sinche, J. Sá Silva and F. Boavida, "Industrial IoT Monitoring: Technologies and Architecture Proposal", *Sensors*, vol. 18, no. 10, p. 3568, 2018. Available: 10.3390/s18103568 [Accessed 10 September 2020].
- [27] S. Mercy, A. Sivasubramanian, N. Bhuvan, et al, "Internet of Things based Smart window and Temperature Monitoring System", 6th International Conference on Advanced Computing & Communication Systems (ICACCS), 2020. [Accessed 10 September 2020].
- [28] Caroline Blazejewski, Frederic Wallet, Anahita Rouze, Remi Le Guern, Sylvie Ponthieux, Julia Salleron, and Saad Nseir. Efficiency of hydrogen peroxide in improving disinfection of ICU rooms. *Critical care (London, England)*, 19(1):30, feb 2015.
- [29] Kurt Bedell, Adam H Buchaklian, and Stanley Perlman. Efficacy of an Automated Multiple Emitter Whole-Room Ultraviolet-C Disinfection System Against Coronaviruses MHV and MERS-CoV. *Infection control and hospital epidemiology*, 37(5):598–599, may 2016.
- [30] Yang JH, Wu UI, Tai HM, and Sheng WH. Effectiveness of an ultraviolet-C disinfection system for reduction of healthcare-associated pathogens., 2019.
- [31] Christine R Kovach, Yavuz Taneli, Tammy Neiman, Elaine M Dyer, Alvin Jason A Arzaga, and Sheryl T Kelber. Evaluation of an ultraviolet room disinfection protocol to decrease nursing home microbial burden, infection and hospitalization rates. *BMC infectious diseases*, 17(1):186, mar 2017.
- [32] Simon James Fong, Nilanjan Dey, and Jyotisma Chaki. An Introduction to COVID-19. *Artificial Intelligence for Coronavirus Outbreak*, pages 1–22, jun 2020.
- [33] J A Otter, S Yezli, F Barbut, and T M Perl. An overview of automated room disinfection systems: When to use them and how to choose them. *Decontamination in Hospitals and Healthcare*, pages 323–369, 2020.
- [34] J A Otter, S Yezli, T M Perl, F Barbut, and G L French. A guide to no-touch automated room disinfection (NTD) systems. *Decontamination in Hospitals and Healthcare*, pages 413–460, 2014.
- [35] J A Otter, S Yezli, T M Perl, F Barbut, and G L French. The role of 'no-touch automated room disinfection systems in infection prevention and control. *Journal of Hospital Infection*, 83(1):1–13, 2013.
- [36] Clare Rock, Bryce A Small, Kerri A Thom, and For the CDC Prevention Epicenters Program. Innovative Methods of Hospital Disinfection in Prevention of Healthcare Associated Infections. *Current Treatment Options in Infectious Diseases*, 10(1):65–77, 2018.

- [37] Patryk Tarka and Aneta Nitsch-Osuch. No-Touch Automated Disinfection System for Decontamination of Surfaces in Hospitals. *International journal of environmental research and public health*, 17(14):5131, jul 2020
- [38] Maureen Spencer, Michelle Vignari, Elizabeth Bryce, Helen Boehm Johnson, Loretta Fauerbach, and Denise Graham. A model for choosing an automated ultravioletC disinfection system and building a case for the C-suite: Two case reports. *AJIC: American Journal of Infection Control*, 45(3):288–292, 2017.
- [39] Beatrice Casini, Benedetta Tuvo, Maria Luisa Cristina, Anna Maria Spagnolo, Michele Totaro, Angelo Baggiani, and Gaetano Pierpaolo 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*, 16(19):3572, sep 2019.
- [40] J E Zeber, J D Coppin, F C Villamaria, M D Williams, P Chatterjee, H Choi, L A 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*, 6(12), 2019.
- [41] Joshua K Schaffzin, Adam W Wilhite, Zhaoyan Li, David Finney, Andrea L Ankrum, and Ronald Moore. Maximizing efficiency in a high occupancy setting to utilize ultraviolet disinfection for isolation rooms. *AJIC: American Journal of Infection Control*, 48(8):903–909, 2020.
- [42] N Mahida, N Vaughan, and T Boswell. First UK evaluation of an automated ultraviolet-C room decontamination device (Tru-DTM). *Journal of Hospital Infection*, 84(4):332–335, 2013.
- [43] DECSAI, "Especificación de requerimientos - Diseño de bases de datos", Universidad de Granada, Departamento de Ciencias de la Computación e I.A. pp. 3-28.
- [44] Schweers R.J. " Descripción en VHDL de arquitecturas para implementar el algoritmo CORDIC", UNLP, Argentina, 2002.
- [45] ROS, "About ROS", Online. Available: <https://www.ros.org/about-ros/>. [Accessed 10 November 2020].
- [46] ROS, "Core Components", Online. Available: <https://www.ros.org/core-components/>. [Accessed 11 November 2020].
- [47] ROS, "Parameter Server", ROS Graph Concepts, Online. Available: <http://wiki.ros.org/Parameter%20Server>. [Accessed 11 November 2020].
- [48] ROS, "Messages", ROS Graph Concepts, Online. Available: <http://wiki.ros.org/Messages>. [Accessed 11 November 2020].

- [49] ROS, "Nodes", ROS Graph Concepts, Online. Available: <http://wiki.ros.org/Nodes>. [Accessed 9 November 2020].
- [50] ROS, "Topics", ROS Graph Concepts, Online. Available: <http://wiki.ros.org/Topics>. [Accessed 10 November 2020].
- [51] ROS, "Services", ROS Graph Concepts, Online. Available: <http://wiki.ros.org/Services>. [Accessed 11 November 2020].
- [52] ROS, "roscpp", Documentation status, Online. Available: <http://wiki.ros.org/roscpp>. [Accessed 10 November 2020].
- [53] ROS, "Master", ROS Graph Concepts, Online. Available: <http://wiki.ros.org/Master>. [Accessed 9 November 2020].
- [54] Gazebo, "WhyGazebo? & Features", Open Source Robotic Foundation, 2014, Online. Available: <http://gazebo.org/>. [Accessed 9 October 2020].
- [55] L. Zhong, D. Yang, Y. Jiang and H. Feng, "Design and Realization of Smart Home Environmental Monitoring System Based on Wireless Sensor Networks", *Advanced Materials Research*, vol. 658, pp. 565-568, 2013. Available: [10.4028/www.scientific.net/amr.658.565](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.658.565) [Accessed 11 September 2020].
- [56] R. Carli, G. Cavone, S. Ben Othman and M. Dotoli, "IoT Based Architecture for Model Predictive Control of HVAC Systems in Smart Buildings", *Sensors*, vol. 20, no. 3, p. 781, 2020. Available: [10.3390/s20030781](https://doi.org/10.3390/s20030781) [Accessed 11 September 2020].
- [57] G. Fischer, R. Righi, C. Costa, G. Galante and D. Griebler, "Towards Evaluating Proactive and Reactive Approaches on Reorganizing Human Resources in IoT-Based Smart Hospitals", *Sensors*, vol. 19, no. 17, p. 3800, 2019. Available: [10.3390/s19173800](https://doi.org/10.3390/s19173800) [Accessed 11 September 2020].
- [58] S.Kannak, .S.NithyaPriya, et al., "DEVELOPMENT OF SMART AIR QUALITY MONITORING & FILTERING SYSTEM", Department of Mechatronics Engineering, Sri Krishna College of Engineering and Technology, Coimbatore, 2020. [Accessed 11 September 2020].
- [59] C. Raluchukwu, R. Dhakshyani, et al., "Smart Smoke and Air Quality Detection System", *International Journal of Advanced Science and Technology*, Vol. 29, No. 1, (2020), pp. 1285 - 1300, 2020. [Accessed 11 September 2020].
- [60] Y. Koedoes, S. Jie, M. Anshari Nur, Bunyamin and A. Astari, "Design of Prototype System for Monitoring Air Quality for Smart City Implementation", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 797, p. 012023, 2020. Available: [10.1088/1757-899x/797/1/012023](https://doi.org/10.1088/1757-899x/797/1/012023) [Accessed 11 September 2020].

- [61] C. Hu, S. Li and T. Tsai, "A SMS-Based Real-Time Device Monitoring and Abnormality Recovery System for Computer Rooms", *Applied Mechanics and Materials*, vol. 121-126, pp. 3750-3754, 2011. Available: [10.4028/www.scientific.net/amm.121-126.3750](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.121-126.3750) [Accessed 11 September 2020].
- [62] R. Visvanathan et al., "Effectiveness of an Ambient Intelligent Geriatric Management system (AmbIGeM) to prevent falls in older people in hospitals: protocol for the AmbIGeM stepped wedge pragmatic trial", *Injury Prevention*, vol. 25, no. 3, pp. 157-165, 2017. Available: [10.1136/injuryprev-2017-042507](https://doi.org/10.1136/injuryprev-2017-042507) [Accessed 11 September 2020].
- [63] G. Xu, Y. Shi, X. Sun and W. Shen, "Internet of Things in Marine Environment Monitoring: A Review", *Sensors*, vol. 19, no. 7, p. 1711, 2019. Available: [10.3390/s19071711](https://doi.org/10.3390/s19071711) [Accessed 11 September 2020].
- [64] "ROS.org | Powering the world's robots", Ros.org, 2020. [Online]. Available: <https://www.ros.org/>. [Accessed: 05- Oct- 2020].
- [65] Raspberrypi.org, 2020. [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/>. [Accessed: 05- Oct- 2020].
- [66] S. Pirbhulal et al., "A Novel Secure IoT-Based Smart Home Automation System Using a Wireless Sensor Network", *Sensors*, vol. 17, no. 12, p. 69, 2016. Available: [10.3390/s17010069](https://doi.org/10.3390/s17010069) [Accessed 10 September 2020].
- [67] N. Lucas Martínez, J. Martínez and V. Hernández Díaz, "Virtualization of Event Sources in Wireless Sensor Networks for the Internet of Things", *Sensors*, vol. 14, no. 12, pp. 22737-22753, 2014. Available: [10.3390/s141222737](https://doi.org/10.3390/s141222737) [Accessed 10 September 2020].
- [68] J. Capella, J. Campelo, A. Bonastre and R. Ors, "A Reference Model for Monitoring IoT WSN-Based Applications", *Sensors*, vol. 16, no. 11, p. 1816, 2016. Available: [10.3390/s16111816](https://doi.org/10.3390/s16111816) [Accessed 10 September 2020].
- [69] A. Masum, A. Shan-A-Alahi, A. Al Noman, M. Uddin, K. Azam and M. Rakib, "IoT-Based Smart Monitoring System to Ensure Worksite Safety—A Context of Garment Industry in Bangladesh", *Lecture Notes in Networks and Systems*, pp. 1285-1293, 2020. Available: [10.1007/978-981-15-0146-3\\_126](https://doi.org/10.1007/978-981-15-0146-3_126) [Accessed 10 September 2020].
- [70] C. Tsirmpas, I. Kouris, A. Anastasiou, K. Giokas, D. Iliopoulou and D. Koutsouris, "An Internet of Things platform architecture for supporting ambient assisted living environments", *Technology and Health Care*, vol. 25, no. 3, pp. 391-401, 2017. Available: [10.3233/thc-161270](https://doi.org/10.3233/thc-161270) [Accessed 10 September 2020].
- [71] A. Dasios, D. Gavalas, G. Pantziou and C. Konstantopoulos, "Hands-On Experiences in Deploying Cost-Effective Ambient-Assisted Living Systems",

- Sensors, vol. 15, no. 6, pp. 14487-14512, 2015. Available: 10.3390/s150614487 [Accessed 10 September 2020].
- [72] J. Tewell, D. O'Sullivan, N. Maiden, J. Lockerbie and S. Stumpf, "Monitoring meaningful activities using small low-cost devices in a smart home", *Personal and Ubiquitous Computing*, vol. 23, no. 2, pp. 339-357, 2019. Available: 10.1007/s00779-019-01223-2 [Accessed 10 September 2020].
- [73] A. Adriansyah and A. Wahyu, "Design of Small Smart Home System Based on Arduino", *Electrical Power, Electronics, Communications, Controls, and Informatics Seminar (EECCIS)*, 2014. [Accessed 10 September 2020].
- [74] D. Kurniawan, M. Iqbal, J. Friadi, R. Borman and R. Rinaldi, "Smart Monitoring Temperature and Humidity of the Room Server Using Raspberry Pi and Whatsapp Notifications", *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1351, p. 012006, 2019. Available: 10.1088/1742-6596/1351/1/012006 [Accessed 10 September 2020].
- [75] C. Lu, F. Chen, W. Hsu, Y. Yang and T. Su, "Constructing Home Monitoring System with Node-RED", *Sensors and Materials*, vol. 32, no. 5, p. 1701, 2020. Available: 10.18494/sam.2020.2686 [Accessed 10 September 2020].
- [76] J. Vanus et al., "Monitoring of the daily living activities in smart home care", *Human-centric Computing and Information Sciences*, vol. 7, no. 1, 2017. Available: 10.1186/s13673-017-0113-6 [Accessed 10 September 2020].
- [77] U. Saralegui, M. Antón, O. Arbelaitz and J. Muguerza, "Smart Meeting Room Usage Information and Prediction by Modelling Occupancy Profiles", *Sensors*, vol. 19, no. 2, p. 353, 2019. Available: 10.3390/s19020353 [Accessed 10 September 2020].
- [78] R. Budiarto, N. Kholis Gunawan and B. Ari Nugroho, "Smart Chicken Farming: Monitoring System for Temperature, Ammonia Levels, Feed in Chicken Farms", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 852, p. 012175, 2020. Available: 10.1088/1757-899x/852/1/012175 [Accessed 10 September 2020].