

Tipo de artículo: Artículo original

Desarrollo de un prototipo robótico para desinfección de ambientes cerrados, contaminados por COVID-19 utilizando tecnología ROS y Visión Artificial

Development of a robotic prototype for the disinfection of closed environments contaminated by COVID-19 using ROS technology and Artificial Vision

Carlos Xavier Pérez Villalva^{1*} , <https://orcid.org/0000-0002-1223-4029>

Ana Raquel Zambrano Rodríguez² , <https://orcid.org/0000-0001-8454-9444>

Mónica María Miranda Ramos³ , <https://orcid.org/0000-0002-7497-1593>

¹Facultad de Ingeniería Electrónica, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. cperezv1@est.ups.edu.ec

²Facultad de Ingeniería Electrónica, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. azambranor2@est.ups.edu.ec

³Máster en Ingeniería. Facultad de Ingeniería Electrónica, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. mmiranda@ups.edu.ec

* Autor para correspondencia: cperezv1@est.ups.edu.ec

Resumen

En 2020 la Organización Mundial de la Salud declaró el COVID-19 como una pandemia. Su aparición demostró que el mundo no estaba preparado para una situación sanitaria de esta envergadura. Sus efectos provocaron el aislamiento social y una afectación sin precedentes a la economía en escala mundial. En dicho escenario, varias investigaciones teóricas y prácticas han demostrado que los robots han venido a desempeñar un papel determinante en la lucha contra el COVID-19. El presente estudio aborda la necesidad de la creación de prototipos robóticos que permitan la desinfección de ambientes cerrados, que ayuden en la eliminación del virus COVID-19 y preserve la vida de las personas. El objetivo general de la investigación es desarrollar un prototipo robótico para desinfectar ambientes cerrados, contaminados por COVID-19, utilizando tecnología ROS y visión artificial. La investigación tiene un diseño experimental, con alcance descriptivo y enfoque mixto, donde se emplearon los métodos de investigación de análisis documental, modelación y experimentación. El estudio fue llevado a cabo en Guayaquil, Ecuador, en el periodo comprendido de marzo a julio del 2021, en la empresa ATIR S.A. Las palabras clave que rigieron el estudio fueron COVID-19, desinfección, luz ultravioleta, Raspberry, robot móvil, ROS y visión artificial. El desarrollo de la propuesta de solución integró tecnologías, software y hardware novedoso como: ROS, Raspberry, LIDAR y Sabertooth. Como resultado, se implementó un prototipo robótico para desinfección de ambientes cerrados, contaminados por COVID-19. Con la propuesta de solución presentada, que es una solución innovadora en el ámbito de la ingeniería, se brinda un elevado beneficio a la comunidad. La misma pretende mejorar el estilo de vida de la población confinada socialmente, como resultado de la delicada situación sanitaria existente producto del COVID-19.

Palabras clave: COVID-19; desinfección; luz ultravioleta; Raspberry; robot móvil; ROS; visión artificial.

Abstract

In 2020 the World Health Organization declared COVID-19 a pandemic. Its emergence demonstrated that the world was unprepared for a health situation of this scale. Its effects led to social isolation and an unprecedented impact on the economy of all countries on a global scale. In such a scenario, several theoretical and practical researches have shown that robots have come to play a determining role in the fight against COVID-19. The present study addresses the need for the creation of robotic prototypes



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

that allow the disinfection of closed environments, enabling the elimination of the COVID-19 virus and preserving people's lives. The general objective of the research is to develop a robotic prototype to disinfect closed environments contaminated by COVID-19, using ROS technology and artificial vision. The research has an experimental design, with descriptive scope and mixed approach, where the research methods of documentary analysis, modeling and experimentation were used. The study was carried out in Guayaquil, Ecuador, from March to July 2021, in the company ATIR S.A. The key words that governed the study were COVID-19, disinfection, ultraviolet light, Raspberry, mobile robot, ROS and artificial vision. The development of the proposed solution integrated novel technologies, software and hardware such as Raspberry, Arduino, ROS, Raspberry, LEDAR and Sabertooth. As a result, a robotic prototype was implemented for disinfection of closed environments contaminated by COVID-19. With the proposed solution presented, which is an innovative solution in the field of engineering, a high benefit is provided to the community. It aims to improve the lifestyle of the socially confined population, as a result of the delicate sanitary situation caused by COVID-19.

Keywords: *artificial vision; COVID-19; disinfection; mobile robot; Raspberry; ROS; ultraviolet light.*

Recibido: 15/04/2021
Aceptado: 18/08/2021

Introducción

El 11 de marzo de 2020 la Organización Mundial de la Salud declaró el virus COVID-19 como una pandemia (MSP, 2021). Tal situación provocó el aislamiento comunitario y dejó como resultado una afectación considerable del sector económico y social del Ecuador y a nivel mundial. Tal situación sanitaria demostró que el mundo no estaba preparado para ella, no existiendo precedentes, ni como resultado de las dos anteriores guerras mundiales. Todos estos inconvenientes han provocado la paralización de los diferentes sectores públicos y privados. No obstante, esta paralización no puede ser extendida por mucho más tiempo, ya que el Ecuador necesita retomar con seguridad las actividades laborales y reactivar su economía. Es por ello que se ha buscado diferentes soluciones para la sanitización de zonas de alta recurrencia mediante el uso de robots, como una solución desde la innovación y la aplicación de la ciencia en favor de problemas sociales.

En tal contexto, si bien las industrias biotecnológicas han desempeñado un papel determinante en el enfrentamiento de COVID-19, las universidades también han desarrollado investigaciones y programas de estudios que permitan una mayor capacitación de sus profesionales, para un enfrentamiento más efectivo de estas y otras enfermedades (Mar-Cornelio et al., 2021). En lo que respecta a investigaciones, se ha logrado la convergencia entre la Ingeniería Eléctrica y la Electrónica, con la robótica, las tecnologías de la información y la domótica, las cuales han evidenciado resultados satisfactorios en el abordaje de esta problemática (Aymerich-Franch et al., 2020; Cardona et al., 2020; Ramírez et al., 2021; Izaguirre et al., 2020).

En línea con la idea anterior, diversas investigaciones han demostrado que los robots juegan un papel importante en la lucha contra el coronavirus SARS-CoV-2 en todo el mundo (Ackerman, 2020; Kaiser et al., 2021; Khan et al., 2020;



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

Yoganandhan et al., 2021). El robot de desinfección UVD, por ejemplo, ha tenido una gran demanda desde el brote de la pandemia de COVID-19. Por todo ello existe un alto grado de interés en adquirir un dispositivo de desinfección que tenga la capacidad de neutralizar y minimizar el incremento de contagios y de pérdida de vidas humanas provocadas por esta pandemia. De esta manera surge la necesidad de la creación de un prototipo robótico que tenga como finalidad la desinfección de ambientes cerrados y a su vez, contribuya con la eliminación de diferentes bacterias, hongos y virus, enfocándose de manera principal en el virus COVID-19.

En este contexto, el trabajo que se presenta tiene el propósito de brindar ayuda en beneficio de la comunidad. Con este proyecto se busca mejorar el estilo de vida provocado por el confinamiento social, brinda seguridad a las personas encargadas de la limpieza y facilita la desinfección de locales, gracias a la autonomía del prototipo robótico, haciendo que las personas se sientan más seguras al visitar un lugar. En tal sentido, el trabajo está dirigido por la empresa ecuatoriana ATIR S.A., que se focaliza en la búsqueda de soluciones innovadoras en el ámbito de la ingeniería. La misma fue creada en 2019, su misión está enfocada en la creación y desarrollo proyectos de ingeniería, por lo que ha solicitado la colaboración de diversas instituciones educativas, gubernamentales e industriales para obtener una solución eficiente ante la emergencia sanitaria causada por el COVID-19.

Antecedentes de la investigación

Diversas investigaciones e invenciones se han llevado a cabo en los últimos años desde la aplicación de las tecnologías de la información, la robótica y la electrónica para solucionar problemas de índole social, en línea con la investigación en desarrollo, tal es el caso del estudio realizado por González-Regueral (2016). Los autores desarrollaron un algoritmo de localización y mapeo simultáneo con un robot móvil, utilizando ROS (*Robot Operating System*) y Gazebo. Los autores implementaron un robot en 3D de forma simulada a partir de la plataforma ROS, que dota al robot de la capacidad de reconocimiento y mapeo en un entorno físico no explorado con anterioridad, haciendo uso de la técnica denominada SLAM (*simultaneous mapping and location*). Entre las futuras aplicaciones de esta invención se encuentran su implementación a nivel de hardware para aprovechar las ventajas del desarrollo realizado.

Por otro lado, Jiménez (2017) implementó un sistema de control de un robot móvil con Raspberry Pi y ROS. El proyecto consistió en el desarrollo de un sistema de control de bajo y alto nivel de un robot móvil con tracción diferencial. La implementación de los sistemas de comunicación se llevó a cabo entre el control de bajo nivel (microcontrolador) y el de alto nivel (Raspberry PI), así como el protocolo de comunicación entre ambos. De igual manera se realizó la programación del módulo de abstracción de actuadores y sensores que permitieron integrar el



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

robot en el entorno de programación ROS (Jiménez, 2017). La investigación sirvió de precedente para el desarrollo de futuras investigaciones con tecnologías similares para la solución de problemas sociales.

Materiales y métodos

La investigación tiene un diseño experimental, con alcance descriptivo y enfoque mixto. El estudio fue llevado a cabo en Guayaquil, Ecuador, en el periodo comprendido de marzo a julio del 2021. Estuvo dividido en tres fases:

1. Un análisis documental para el estudio de los referentes teóricos y contribuciones prácticas ya existentes, relacionadas con el objeto de estudio y campo de acción.
2. La modelación, por medio del desarrollo de la propuesta de solución, la cual integra áreas de conocimiento como la robótica, la visión artificial y la tecnología ROS, para la resolución de la problemática social de desinfección de ambientes cerrados contaminados por COVID-19.
3. La experimentación, que abarca la utilización y verificación de la propuesta de solución desarrollada en la desinfección de los ambientes cerrados contaminados por COVID-19.

En el desarrollo de la investigación se emplearon los siguientes métodos científicos (Hernández, Fernández & Baptista, 2014):

- Análisis documental: Aplicado en el estudio de los principales conceptos teóricos y componentes prácticos de la investigación. Se realizó un análisis bibliográfico a partir de investigaciones indexadas en bases de datos de impacto y presentes en la web. La búsqueda comprendió las palabras clave de la investigación: COVID19, desinfección, luz ultravioleta, Raspberry, robot móvil, ROS y visión artificial.
- Modelación: La propuesta de solución desarrollada se basa en la aplicación del método científico de modelación. Teniendo en cuenta los conceptos analizados se desarrolló un prototipo robótico para la desinfección de ambientes cerrados, contaminados por COVID-19, utilizando tecnología ROS y Visión Artificial.
- Experimentación: Fue empleada en la validación del correcto funcionamiento del prototipo robótico desarrollado, de manera tal que se comprobara su utilidad en la desinfección de ambientes cerrados contaminados por COVID-19.

El objetivo general de la investigación es desarrollar un prototipo robótico para desinfectar ambientes cerrados, contaminados por COVID-19, utilizando tecnología ROS y visión artificial.

Para dar cumplimiento al objetivo general se establecen los siguientes objetivos específicos:



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

1. Diseñar la estructura electromecánica del prototipo para desinfección.
2. Ejecutar el algoritmo de posicionamiento mediante ROS.
3. Implementar el sistema de seguridad del prototipo utilizando visión artificial.

Para el cumplimiento del objetivo general se definieron un conjunto de pasos:

1. Como primer paso se realizó el diseño del prototipo robótico. Para ello se trabajó con un software de diseño asistido por computadora. El prototipo se preparó para la sanitización en ambientes cerrados. Esto se logró con el empleo combinado de Raspberry y Arduino, mediante la arquitectura del Sistema Operativo ROS. Inicia su proceso con un botón de encendido y la baliza indicadora amarilla se activa. Se da un mensaje de advertencia, el cual indica que no hay personas en el área a desinfectar. En caso de detectar una persona, se detiene el programa y regresa a indicar el mensaje que las personas deben abandonar el área. Esta verificación se da de manera continua.
2. Una vez que no detecte a ninguna persona se da paso al mapeo y definición de la ruta, mediante la técnica de navegación SLAM, con la baliza amarilla intermitente. Cuando se establece la ruta, las lámparas UV-C se encienden. Esto permite iniciar la etapa de desinfección, con lo cual la baliza indicadora pasa al estado rojo. Cuando el prototipo termina su ruta con las lámparas encendidas, se indica que el proceso ha culminado con éxito, cambiando la baliza a color verde.

Conceptos principales de la investigación

Desinfección: Es el proceso de destrucción de microorganismos patógenos de una superficie. Es un término relativo, donde existen diversos niveles, desde una esterilización química, a una mínima reducción del número de microorganismos contaminantes (McDonnell & Russell, 1999).

Luz ultravioleta: El espectro ultravioleta es una banda de radiación electromagnética a energías más altas que la luz visible, tiene un efecto germicida. Dependiendo de la longitud de onda el efecto de los rayos UV puede ser más o menos efectivo contra diversos microorganismos al destruir los ácidos nucleicos y el ADN (Galicia, 2020).

COVID19: Es un nuevo tipo de coronavirus que puede afectar a las personas y se ha detectado por primera vez en diciembre de 2019 en la ciudad de Wuhan, provincia de Hubei, en China. El nuevo coronavirus se llama SARS-CoV2, la enfermedad se llama Corona Virus *Disease* 2019 (MSP, 2021).

Raspberry: La Raspberry Pi es una computadora del tamaño de una tarjeta de crédito que se conecta a un televisor o pantalla, puede usarse para aprender a codificar y crear proyectos de electrónica, y para muchas de las cosas que hace



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

una PC de escritorio, como hojas de cálculo, procesamiento de texto, navegar por Internet y jugar. La Raspberry Pi está siendo utilizada por adultos y niños de todo el mundo para aprender programación (Raspberry, 2021).

Marco teórico referencial de la investigación

Robot Operating System (ROS) es un middleware robótico, es decir, una colección de *frameworks* para el desarrollo de software de robots. ROS se desarrolló originariamente en 2007 bajo el nombre de *switchyard* por el Laboratorio de Inteligencia Artificial de Stanford para dar soporte al proyecto del Robot con Inteligencia Artificial de Stanford (STAIR2).

A pesar de no ser un sistema operativo, ROS provee los servicios estándar de uno de estos tales como la abstracción del hardware, el control de dispositivos de bajo nivel, la implementación de funcionalidad de uso común, el paso de mensajes entre procesos y el mantenimiento de paquetes. Está basado en una arquitectura de grafos donde el procesamiento toma lugar en los nodos que pueden recibir, mandar y *multiplexar* mensajes de sensores, control, estados, planificaciones y actuadores, entre otros. La librería está orientada para un sistema UNIX (Ubuntu -Linux-) aunque también se está adaptando a otros sistemas operativos como Fedora, Mac OS X, Arch, Gentoo, OpenSUSE, Slackware, Debian o Microsoft Windows (ROS, 2021).

El SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*) es una técnica en la cual un robot o vehículo autónomo opera en un entorno a priori desconocido, utilizando únicamente sus sensores de abordaje, mientras construye un mapa de su entorno, el cual utiliza al mismo tiempo para localizarse. Los sensores tienen un gran impacto en los algoritmos usados en SLAM (Munguía-Alcalá et al., 2013). En el año 1995 en el *International Symposium on Robotics Research* fue presentado por primera vez la estructura del SLAM, y se empleó el acrónimo, para el algoritmo. Desde entonces el algoritmo de SLAM es una técnica para posicionamiento en exteriores muy estudiada y con unos resultados bastante buenos (Munguía-Alcalá et al., 2013).

LIDAR son las siglas de "*Laser Imaging Detection and Ranging*". Si un radar emite ondas de radio que rebotan en los objetos, un LIDAR emite haces de rayos de luz láser infrarroja, no peligrosas en las condiciones de uso previstas, que "rebotan" en los objetos. Un LIDAR consiste de manera muy básica en un foco emisor de haces de rayos láser infrarrojos (y que por tanto no se ven), y de una lente receptora infrarroja capaz de ver esos haces láser. La distancia al objeto se determina midiendo el tiempo de retraso entre la emisión del pulso y su detección a través de la señal reflejada. En general, la tecnología LIDAR tiene aplicaciones en geología, sismología y física de la atmósfera. También se investiga su uso en vehículos, especialmente autónomos (Ibáñez, 2021).



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

Luz ultravioleta de onda corta:

Desde hace varios años la luz UV ha sido ampliamente usada para esterilizar pequeños flujos residenciales, así como también grandes flujos en proyectos comerciales e industriales; pero hoy es un método efectivo para prevenir la propagación de COVID-19 y en países como China (*Wuhan Wuchang Hospital*) ya se están usando sistemas con lámparas UV para prevenir la infección y contribuir como solución práctica en la lucha contra la propagación del virus. Este tipo de mecanismos de desinfección funcionan con luz UV y tienen un efecto germicida. Dependiendo de la longitud de onda el efecto de los rayos UV puede ser más o menos efectivo contra diversos microorganismos al destruir los ácidos nucleicos y el ADN.

Desde el desarrollo en laboratorio en 1878, la UV-C se ha convertido en un método básico de esterilización, ya que pueden infringir daño a todo tipo de microorganismos, entre ellos bacterias, protozoos, hongos y hasta virus. Su uso como desinfectante de agua, aire y diversas superficies está respaldado por investigación científica desde hace décadas. En el campo de la medicina, la radiación UV-C se usa para eliminar gérmenes o para ayudar a cicatrizar heridas (Galicia, 2020).

Arduino es una plataforma de código abierto de fácil uso que se basa en la utilización en hardware y software. Su funcionamiento se basa en una placa electrónica de hardware libre que incorpora un microcontrolador re-programable y una serie de pines para entrada y salida. Estos componentes permiten establecer conexiones entre el microcontrolador y los diferentes sensores y actuadores de una manera muy sencilla. Las placas Arduino son capaces de leer diversas entradas y convertirlas en una salida útil para una situación práctica cotidiana. Puede decirle a la placa lo que tiene que hacer enviando un conjunto de instrucciones al microcontrolador. Para poder enviar este conjunto de instrucciones se utiliza el IDE de Arduino (Arduino, 2021).

Al hablar de “Arduino” se debe especificar el modelo concreto. Se han fabricado diferentes modelos de placas Arduino oficiales, cada una pensada con un propósito diferente y características variadas, como el tamaño físico, el número de pines de entrada y salida y el modelo del microcontrolador, entre otros aspectos. A pesar de las varias placas que existen, todas pertenecen a la misma familia (microcontroladores AVR marca Atmel). Esto significa que comparten la mayoría de sus características de software, como arquitectura, librerías y documentación.

El controlador de motor regenerativo doble Sabertooth 60A 6V - 30V es uno de los controladores de motor doble más versátiles, eficientes y fáciles de usar. Es adecuado para robots de alta potencia: hasta 120 libras en combate o hasta 1000 libras para robótica de uso general. El controlador puede alimentar dos motores *DC Brushed* de hasta 60A cada uno. Las corrientes máximas de 120A por canal se pueden soportar durante unos segundos (SDR, 2021).



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

La protección contra subidas de tensión y térmicas significa que nunca tendrá que preocuparse por quemar el controlador con paradas accidentales o por conectar un motor demasiado grande. Permite controlar dos motores con: voltaje analógico, control de radio, serial y serial empaquetado. Puede construir muchos robots de diferente complejidad. Cuenta con modos de funcionamiento independientes de velocidad y dirección, lo que lo convierte en el controlador ideal para robots de accionamiento diferencial tipo tanque, de chasis resistente y rígido, con cuatro ruedas para lograr su movilidad, teniendo una tracción independiente, así como suspensión. Asimismo, su dirección es de tipo automóvil en las ruedas traseras. Tales características y autonomía le permiten al robot su navegación en áreas regulares e irregulares de manera satisfactoria.

Resultados y discusión

Como resultado fundamental de la investigación, se desarrolló un prototipo robótico para la desinfección de ambientes cerrados, contaminados por COVID-19. En la Figura 1 se muestra su diagrama general, mientras que en la Figura 2 se visualiza su arquitectura general.

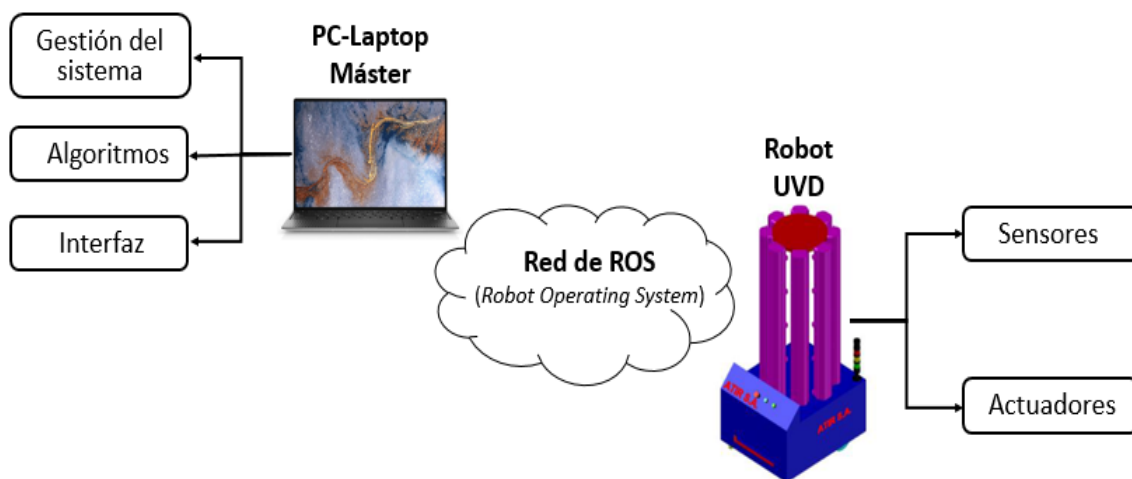


Figura 1. Diagrama general de la propuesta de solución. Fuente: elaboración propia.



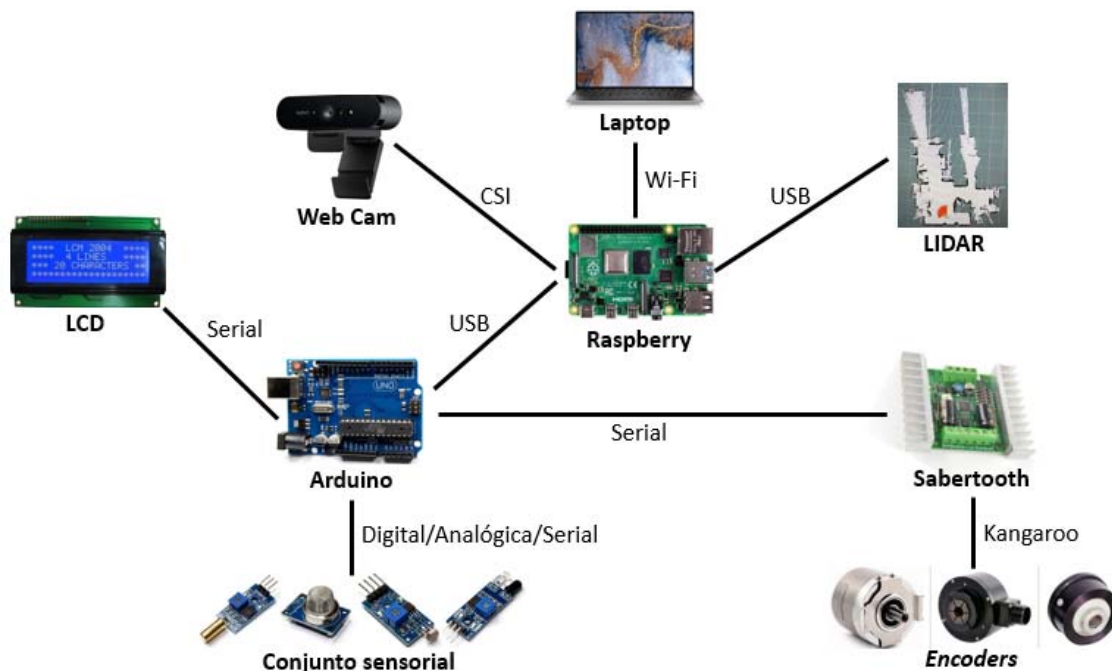


Figura 2. Arquitectura general de la propuesta de solución. Fuente: elaboración propia.

La implementación del prototipo robótico permite la obtención de una solución eficiente en la desinfección de áreas cerradas, en un contexto social y sanitario mundial afectado por la presencia de COVID-19. El prototipo fue diseñado de manera que puede utilizarse de manera sencilla y segura en hospitales, residencias, oficinas y en general en cualquier espacio habitable. El prototipo desarrollado tiene ventajas y mejoras respecto a otros prototipos estudiados y analizados como parte de los antecedentes de la investigación, las cuales se muestran en la Tabla 2.

Tabla 1. Comparación de limpieza manual y automática. Fuente: elaboración propia.

Ítem	Presencial	Prototipo
Riesgo de exposición.	Alto riesgo de contagio para el personal de limpieza.	Riesgo casi nulo, al no haber contacto con el ambiente a desinfectar.
Tiempo de trabajo.	Periodo prolongado de limpieza.	Tiempo reducido de limpieza.
Protección ambiental	Los químicos usados en diferentes procesos de desinfección son continuamente criticados por los efectos sobre la salud humana y el medio ambiente	La luz UV-C no deja residuos.
Efectividad de limpieza.	Existen zonas de difícil acceso para el personal de limpieza.	La luz emitida por lámparas UV-C tiene mayor alcance a zonas de



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)**

		difícil acceso, elimina el 99.9% de bacterias y virus.
--	--	--

Para el control de alto nivel se empleó una Raspberry, el cual se integra a una arquitectura basada en el sistema operativo robótico ROS. A pesar de tratarse de un elemento altamente poderoso y beneficioso a la hora de afrontar el problema del diseño y programación del prototipo, se encuentran algunas deficiencias que llevan a necesitar otro elemento que facilite la tarea. En este caso se emplea Arduino, por el número de entrada y salidas, tanto digitales como análogas.

El mapeo y localización del robot se logró mediante el algoritmo SLAM, permitiendo el posicionamiento en tiempo real. Asimismo, los datos de los objetos que se encuentran dentro del lugar a desinfectar se obtuvieron por medio de un LIDAR, el cual es un sistema de medición y detección mediante láser. Combinando ambas herramientas se logra tener una visión de todo lo que contiene un área. Para ello, en la Figura 3 se muestra una imagen con el mapeo logrado con la información del LIDAR, con todos los objetos que hay en la habitación. La información anterior propicia que el prototipo robótico desarrollado se desplace de forma segura por la habitación sin hacer contacto con otro objeto.

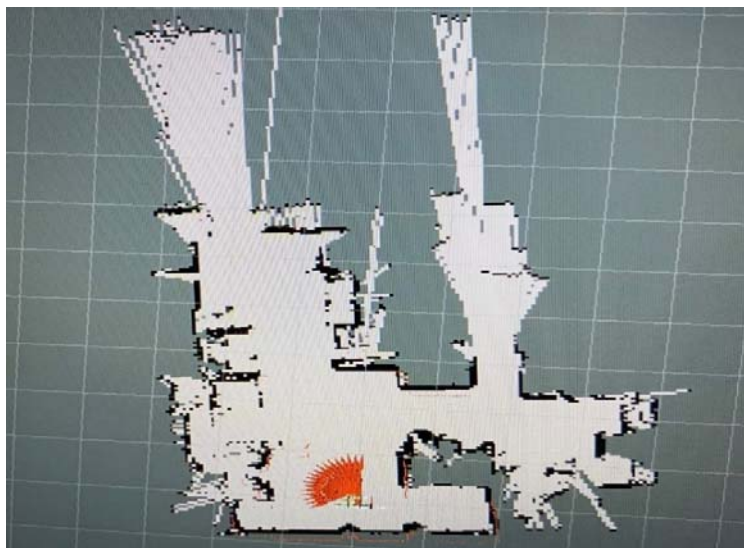


Figura 3. Mapeo del prototipo robótico por medio del sistema de medición y detección de objetos mediante laser (LIDAR). Fuente: elaboración propia.

Una vez identificada el área de trabajo y realizado el mapeo del lugar de ubicación, el prototipo comienza el desplazamiento y la desinfección. Para realizar este proceso se usa la radiación UV con rayos de tipo C. De igual



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)**

manera, para que el prototipo entre en funcionamiento, consta de una botonera; un botón que inicia el proceso de mapeo y localización, un botón de paro de emergencia y un botón de *reset*, con el cual el prototipo restaura los valores de navegación.

El operador puede verificar el estado del prototipo, con la visualización de una baliza de tres segmentos, cada uno para identificar las diferentes etapas en la que se encuentra el robot. El prototipo es capaz de realizar un desplazamiento autónomo, el cual fue posible por medio de la combinación de los dos niveles de programación, la comunicación serial entre el bajo nivel y el alto nivel. En la Figura 4 se muestra el prototipo robótico desarrollado y la ubicación de sus componentes principales.



Figura 4. Prototipo robótico desarrollado. Fuente: elaboración propia.

Para un mayor entendimiento de este proceso, en la Figura 5 se muestra el diagrama de flujo que cumple el prototipo robótico desarrollado en cada secuencia de desinfección. La verificación de presencia será de manera continua, siendo



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)**

esta una interrupción para detener el proceso y apagar las lámparas ultravioletas en caso de detectar algún movimiento en el local.

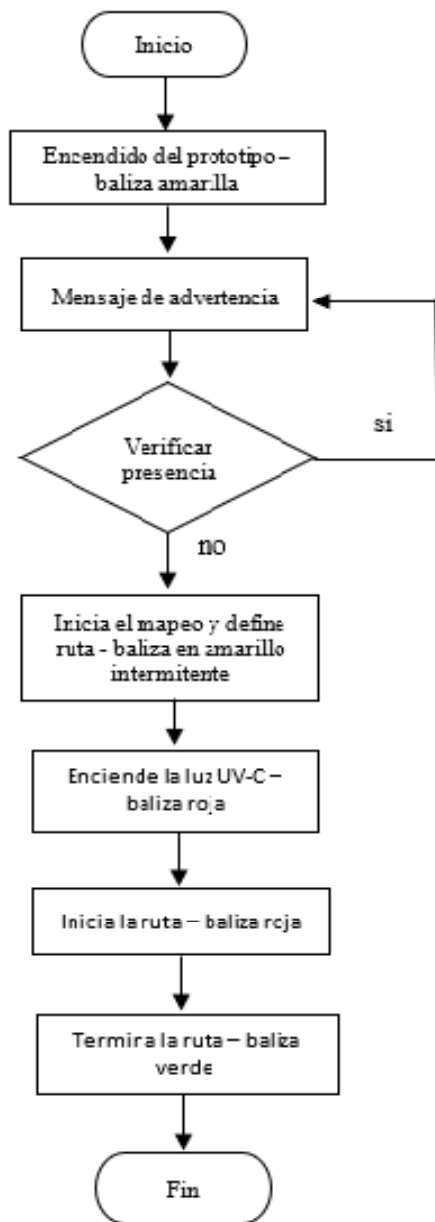


Figura 5. Diagrama de flujo del proceso. Fuente: elaboración propia.



Adicionalmente, para lograr un óptimo resultado se debetener en cuenta la dosis UV-C, el tiempo de radiación, la intensidad de la radiación y el dimensionamiento (P2G, 2020). Del mismo modo, el prototipo tiene una capacidad de cobertura de desinfección de 360 grados, mientras que la longitud de onda UV-C es de 254 nM aproximadamente. Este rango UV es conocido como el rango germicida debido a su capacidad de desactivar virus y bacterias. Todos los parámetros de diseño y construcción están regidos por la especificación UNE 0068, la cual recopila toda la información técnica y declaraciones de conformidad necesarias a seguir para un correcto funcionamiento de este tipo de prototipos. En cuanto al control de los motores, se realiza por medio de Arduino, en conjunto con un controlador Sabertooth dual, el cual ha sido elegido por su robustez y la alta tolerancia que tiene a la corriente. Del mismo modo, se tiene un lazo de retroalimentación mediante *encoders*, para un mejor posicionamiento del prototipo robótico dentro del área.

Del mismo modo, en lo que respecta a la seguridad para el usuario, se tomó como base la normativa UNE 0068 y UNE-EN ISO 15858. Se utiliza un sensor de presencia, el cual es el encargado de parar el programa si se da el caso que alguien entre a la habitación cuando el proceso aún no ha terminado. Adicionalmente, un indicador sonoro se encarga de dar la alerta que el proceso está por iniciar para que el usuario abandone el lugar.

A continuación, en la Figura 6 se muestra el diagrama de bloques para el correcto funcionamiento del prototipo. Se puede observar dos bloques de procesos, uno para cada nivel de comunicación. En él, el movimiento depende del procesamiento del algoritmo SLAM, del sensor LIDAR y de la información del sensor de movimiento para su adecuado funcionamiento.

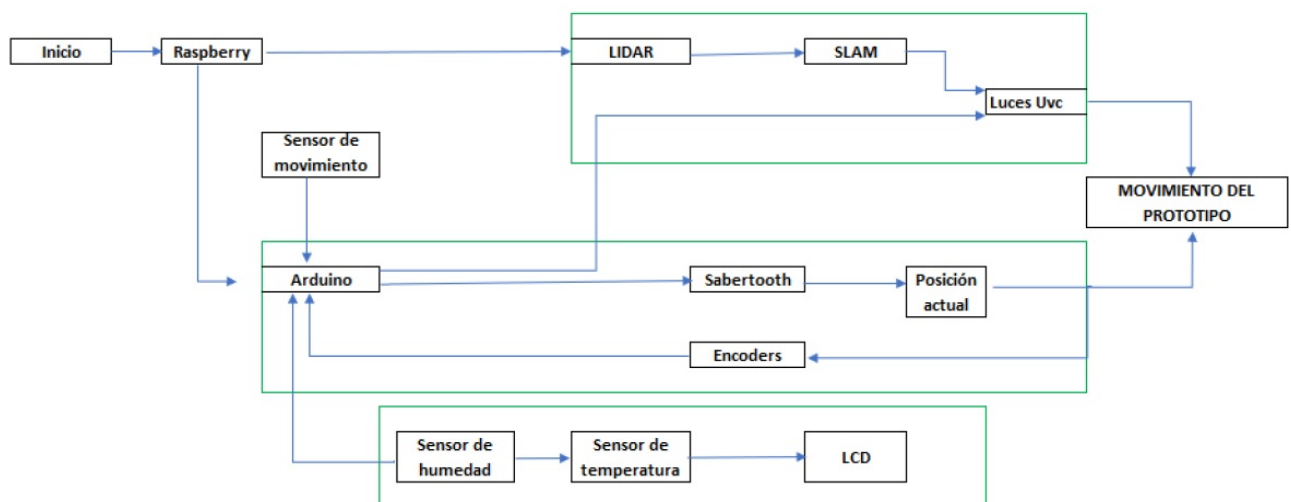


Figura 6. Diagrama de bloques del proceso. Fuente: elaboración propia.



Finalmente, en un proceso independiente al de desinfección, se implementó un sensor de temperatura y humedad como medida adicional al control de la propagación del virus COVID-19. Ello se debe a que diversos estudios certifican que el aire más seco de los espacios cerrados climatizados favorece la transmisión del virus y reduce la respuesta inmunitaria (Moriyama et al., 2020). Los datos obtenidos se muestran en la pantalla LCD.

Para verificar que el prototipo ha realizado correctamente la desinfección y que la cantidad de rayos UV-C ha sido la adecuada en todos los lugares de la habitación, se realizaron los siguientes pasos:

a) Verificación de incidencia de luz ultravioleta en las superficies:

Basados en la ISO 18593, se realizó un análisis de las zonas que recorrió el prototipo robótico en el proceso. Se usó pegatinas de “UVC STERILIZER DOSIMETER”, las cuales están diseñadas para indicar visualmente una dosis acumulada de UV-C que varía entre 25 y 300 J / cm². Un estudio reciente indica que el SARS-CoV-2 se puede inactivar con una dosis de 22 mJ / cm² (Signify, 2020). Los UV-C *Dosimeters* se colocaron en sitios estratégicos para medir el nivel de radiación que afecta cada lugar. En la Figura 7 se muestran los *Dosimeter* que fueron colocados antes del proceso de desinfección y luego de ser expuestos a la luz ultravioleta de tipo C por aproximadamente 20 minutos para lograr una desinfección efectiva.

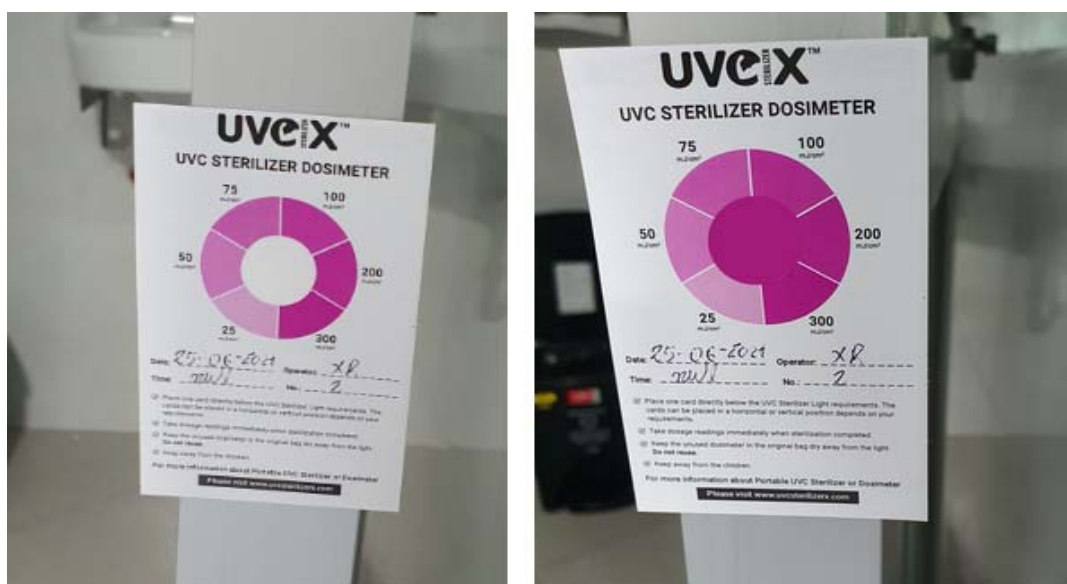


Figura 7. Dosimeter que fueron colocados antes del proceso de desinfección (izquierda) y luego de ser expuestos a la luz ultravioleta de tipo C por aproximadamente 20 minutos para lograr una desinfección efectiva (derecha). Fuente: elaboración propia.

b) Verificación de desinfección correcta:



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)**

Se trabajó en conjunto con el Hospital de SOLCA y su laboratorio, para que el prototipo realizara pruebas en campo de acción real y se pudiesen realizar los análisis adecuados para saber si la luz UV-C había realizado su trabajo correctamente. Para la toma de muestras y comparación de los resultados se utilizaron las normativas ISO 18593 e ISO 7218, usando cajas de disco petri debidamente esterilizadas y ocupadas hasta la mitad con goma agar. Se obtuvieron las muestras del antes y después de pasar el prototipo, con el equipo MAS-100 NT, depositando la toma de muestra del en la mezcla de goma agar. Tras esto, la cápsula se selló para evitar la contaminación del cultivo (KITLAB, 2021). Para la verificación de un correcto nivel de desinfección en conjunto con el laboratorio de SOLCA se hizo la comparación de ambas muestras y se analizaron los resultados obtenidos, como se muestra en la Figura 8.

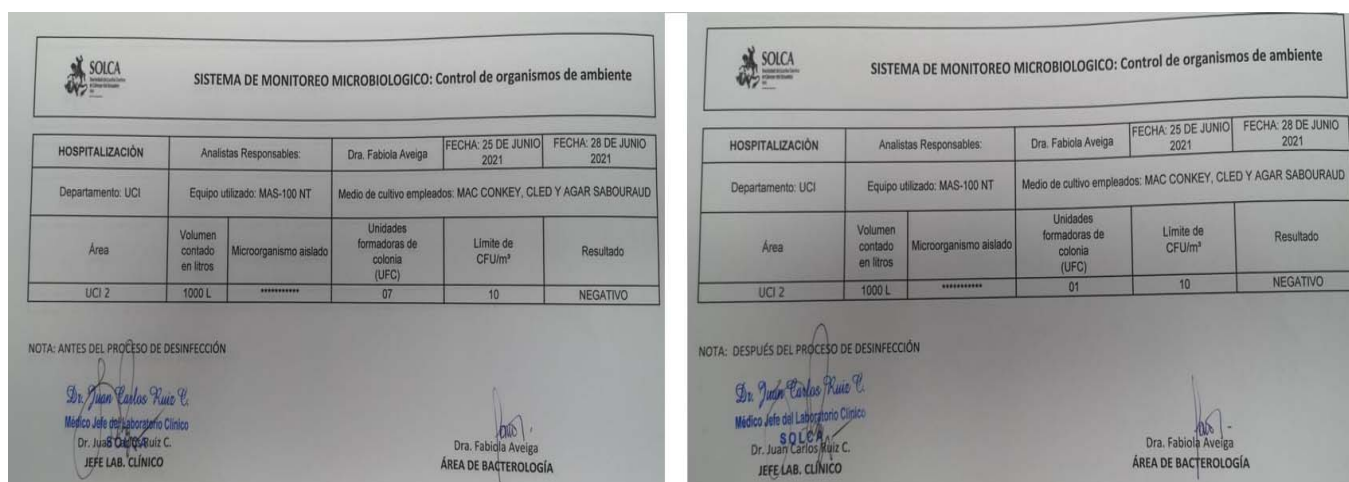


Figura 8. Pruebas de laboratorio, antes (izquierda) y después del proceso de desinfección (derecha). Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Se desarrolló un prototipo robótico para desinfección de ambientes cerrados, contaminados por COVID-19, utilizando tecnología ROS y Visión Artificial. Con la propuesta de solución presentada, que es una solución innovadora en el ámbito de la ingeniería, se brinda un elevado beneficio a la comunidad. La misma pretende mejorar el estilo de vida de la población confinada socialmente, como resultado de la delicada situación sanitaria existente producto del COVID-19. Es por ello que les brinda una mayor seguridad a las personas encargadas de la limpieza y desinfección de los locales, producto de la autonomía del prototipo robótico, lo cual hace que las personas se sientan más seguras al visitar un lugar.



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)**

Las principales limitaciones de la investigación se atribuyen a su alcance espacio-tiempo así como a los limitados recursos utilizados para el desarrollo del proyecto de investigación. No obstante, la investigación puede ser empleada como un referente válido en el desarrollo de prototipos robóticos con el empleo de tecnologías como: ROS, Raspberry, LIDAR y Sabertooth, como una invención desde la industria para la resolución de problemas sociales que aquejan a la población mundial, como es el caso del COVID-19.

Los trabajos futuros en esta área de conocimiento y aplicación deben centrarse en el desarrollo de nuevos prototipos robóticos robustos, con software y hardware libre, para un mayor ahorro de recursos que posibiliten su sostenibilidad y progresiva utilización. De igual manera, deben ser desarrollados con arquitecturas que incorporen el Big Data, profundizar la Inteligencia Artificial y el Internet de las Cosas, que permita aprovechar el elevado cúmulo de datos disponibles para una toma de decisiones más efectiva y en menor tiempo.

Conflictos de intereses

No existe conflicto de intereses.

Contribución de los autores

1. Conceptualización: Carlos Xavier Pérez Villalva, Ana Raquel Zambrano Rodríguez.
2. Curación de datos: Carlos Xavier Pérez Villalva, Ana Raquel Zambrano Rodríguez.
3. Análisis formal: Carlos Xavier Pérez Villalva, Ana Raquel Zambrano Rodríguez.
4. Adquisición de fondos: Carlos Xavier Pérez Villalva, Ana Raquel Zambrano Rodríguez.
5. Investigación: Carlos Xavier Pérez Villalva, Ana Raquel Zambrano Rodríguez.
6. Metodología: Carlos Xavier Pérez Villalva, Ana Raquel Zambrano Rodríguez.
7. Administración del proyecto: Carlos Xavier Pérez Villalva, Ana Raquel Zambrano Rodríguez.
8. Recursos: Carlos Xavier Pérez Villalva, Ana Raquel Zambrano Rodríguez.
9. Software: Carlos Xavier Pérez Villalva, Ana Raquel Zambrano Rodríguez.
10. Supervisión: Carlos Xavier Pérez Villalva, Ana Raquel Zambrano Rodríguez.
11. Validación: Carlos Xavier Pérez Villalva, Ana Raquel Zambrano Rodríguez.
12. Visualización: Carlos Xavier Pérez Villalva, Ana Raquel Zambrano Rodríguez.
13. Redacción – borrador original: Carlos Xavier Pérez Villalva, Ana Raquel Zambrano Rodríguez.
14. Redacción – revisión y edición: Carlos Xavier Pérez Villalva, Ana Raquel Zambrano Rodríguez.



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

Referencias

- ACKERMAN, E. Autonomous robots are helping kill coronavirus in hospitals. *IEEE Spectrum*, 11. 2020. Disponible en: http://www.wecareforhumanity.org/uploads/1/5/1/4/15147010/autonomous_robots_are_helping_kill_coronavirus_in_hospitals.pdf
- ARDUINO. What is Arduino? Sitio web oficial de la Comunidad de Arduino. 2021. Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- AYMERICH-FRANCH, L., FERRER, I. The implementation of social robots during the COVID-19 pandemic. arXiv preprint arXiv:2007.03941. 2020. Disponible en: <https://arxiv.org/abs/2007.03941>
- CARDONA, M., CORTEZ, F., PALACIOS, A., CERROS, K. Mobile robots application against Covid-19 pandemic. In 2020 IEEE ANDESCON (pp. 1-5). 2020. IEEE. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/ANDESCON50619.2020.9272072>
- GALICIA, I. Luz ultravioleta para prevenir la propagación de COVID-19. *Iluminet, Revista de Iluminación. Sección Salud y Biología*. 2020. Disponible en: <https://www.iluminet.com/luz-ultravioleta-covid-19/>
- GONZÁLEZ-REGUERAL. A. G. Algoritmo de localización y mapeo simultáneo con un robot móvil utilizando ROS y Gazebo. Carrera en Electrónica, Robótica y Mecatrónica. [Proyecto Fin de Grado]. Universidad de Sevilla. 2016. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/91031/fichero/TFG-Alejandro-Gonzalez-Gonzalez-Regueral.pdf>
- IBAÑEZ, P. Qué es un LIDAR y cómo funciona el sensor más caro de los coches autónomos. *Motorpasion*. 2021. Disponible en: <https://www.motorpasion.com/tecnologia/que-es-un-lidar-y-como-funciona-el-sistema-de-medicion-y-deteccion-de-objetos-mediante-laser>
- IZAGUIRRE, L. V., COSSIO, F. L., PÉREZ, J. F. R., GARCÍA, A. O. Impacto de las aplicaciones y servicios informáticos desarrollados por la Universidad de las Ciencias Informáticas para el sector de la salud. *Revista Cubana de Informática Médica*. 2020, 12(1): p. 58-75. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1684-18592020000100058
- JIMÉNEZ, C. Desarrollo de un sistema de control de un robot móvil. Carrera en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática. [Proyecto de fin de grado]. Universidad de Valladolid. 2017. Disponible en: <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/25547>
- KAISER, M. S., AL MAMUN, S., MAHMUD, M., TANIA, M. H. Healthcare robots to combat COVID-19. In *COVID-19: Prediction, Decision-Making, and Its Impacts* (pp. 83-97). Springer, Singapore. 2021. Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-9682-7_10
- KHAN, Z. H., SIDDIQUE, A., LEE, C. W. Robotics utilization for healthcare digitization in global COVID-19 management. *International journal of environmental research and public health*. 2020, 17(11): p. 3819. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ijerph17113819>
- KITLAB. Laboratorio de Ciencias. Caja de petri. 2021. Disponible en: http://kitlab.exa.unicen.edu.ar/caja_de_petri.html



- MAR-CORNELIO, O., RAMÍREZ-PÉREZ, J. F., LÓPEZ-COSSIO, F., MOREJÓN, M. M., ORELLANA-GARCÍA, A. Impacto de la Maestría en Informática Médica Aplicada en la informatización de la salud pública cubana. *Revista Información Científica*. 2021, 100(2). Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-99332021000200013
- MCDONNELL, G., RUSSELL, A. D. Antiseptics and disinfectants: activity, action, and resistance. *Clinicalmicrobiologyreviews*, 1999, 12(1): p. 147-179. Disponible en: <https://doi.org/10.1128/CMR.12.1.147>
- MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA DE ECUADOR (MSP). Coronavirus COVID-19. Dirección de Vigilancia Epidemiológica. Plataforma Gubernamental de Desarrollo Social. 2021. Disponible en: <https://www.salud.gob.ec/coronavirus-covid-19/>
- MORIYAMA, M., HUGENTOBLE, W. J., IWASAKI, A. Seasonality of respiratory viral infections. *Annual review of virology*, 2020, 7: p. 83-101. Disponible en: <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-virology-012420-022445>
- MUNGUÍA-ALCALÁ, R. F., GRAU-SALDES, A. SLAM con mediciones angulares: método por triangulación estocástica. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 2013, 14(2): p. 257-274. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-77432013000200010&script=sci_abstract&tlng=pt
- P2G. Eficacia de los rayos UV contra el Coronavirus. P2G Partners to Grow, Consulting and Services. 2020. Disponible en: <https://www.p2grow.com/publicaciones/35/eficacia-de-los-rayos-uv-contra-el-coronavirus>
- RAMÍREZ-PÉREZ, J. F., TORRES, V. G. L., LEDO, M. J. V., PÉREZ, A. D. R. R., VALDÉS, M. M. Las tecnologías de la información y la comunicación como factor de desempeño competitivo en instituciones de salud. *Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud*. 2021, 32(2). Disponible en: www.rcics.sld.cu/index.php/acimed/article/view/1685
- RASPBERRY PI. Documentation. FAQs. The Raspberry Pi Foundation. 2021. Disponible en: <https://www.raspberrypi.org/documentation/faqs/#introduction>
- ROS. About ROS. The Robot Operating System (ROS). 2021. Disponible en: <https://www.ros.org/about-ros/>
- SDR. Controlador de Motor Dual Regenerativo Sabertooth – 12A 6V-24V. SANDOROBOTICS ©. 2021. Disponible en: <https://sandorobotics.com/producto/rb-dim-42/>
- SIGNIFY. Signify and Boston University validate effectiveness of Signify’s UV-C light sources on inactivating the virus that causes COVID-19. 2020. Disponible en: <https://www.signify.com/global/our-company/news/press-releases/2020/20200616-signify-boston-university-validate-effectiveness-signify-uv-c-light-sources-on-inactivating-virus-that-causes-covid19?linkId=90981328>
- YOGANANDHAN, A., KANNA, G. R., SUBHASH, S. D., JOTHI, J. H. Retrospective and prospective application of robots and artificial intelligence in global pandemic and epidemic diseases. *Vacunas (English Edition)*. 2021, 22(2): p. 98-105. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.vacune.2020.12.002>

