

Título del Proyecto de Investigación  
al que corresponde el Reporte Técnico:

Modelado matemático y parametrización de un robot móvil con  
ruedas

Tipo de financiamiento

Sin financiamiento

Fecha de Inicio: 06/07/2020  
Fecha de Término: 06/12/2021

Tipo de Reporte

Parcial

Final

Autor (es) del reporte técnico:

Angel Israel Soto Marrufo  
Israel Ulises Ponce Monarrez  
Francesco José García Luna  
Adriana Salinas Avila

# Modelado y Control de un robot móvil con ruedas

## Resumen del reporte técnico en español (máximo 250 palabras)

El proyecto de "Modelado matemático y parametrización de un robot móvil con ruedas" se enfocó en el desarrollo de un modelo matemático detallado y la parametrización precisa de un robot móvil con ruedas. Este proceso implicó la identificación y descripción de los componentes fundamentales del robot, así como la formulación de ecuaciones y algoritmos para representar su comportamiento y movimiento en diferentes entornos.

Los resultados obtenidos de este proyecto sirvieron como base fundamental para la creación exitosa de una interfaz gráfica en ROS (Robot Operating System) y Gazebo, permitiendo la simulación y visualización del comportamiento del robot sanitizador en un entorno virtual. Esta implementación en ROS y Gazebo facilitó el análisis exhaustivo del desempeño del robot en diversas situaciones y escenarios, permitiendo ajustes y mejoras antes de su implementación física.

El impacto alcanzado fue significativo, ya que estos resultados no solo se utilizaron para la simulación, sino que también se llevaron a cabo en la implementación real del robot sanitizador. Este robot, basado en los modelos y parámetros establecidos, se convirtió en una herramienta efectiva para la desinfección de entornos sanitarios, cumpliendo con su función de manera precisa y eficiente.

Además, este proyecto culminó en la finalización exitosa de una tesis de maestría, consolidando el conocimiento teórico y práctico adquirido a lo largo del estudio. La combinación de la modelización matemática, la implementación en ROS y Gazebo, y la ejecución del robot sanitizador refleja un enfoque integral y aplicado, destacando la utilidad y relevancia de la investigación realizada en el campo de la mecatrónica y la robótica aplicada a la sanitización de entornos.

## Resumen del reporte técnico en inglés (máximo 250 palabras):

The project titled "Mathematical Modeling and Parametrization of a Wheeled Mobile Robot" focused on developing a detailed mathematical

model and precise parametrization of a wheeled mobile robot. This involved identifying and describing the fundamental components of the robot, as well as formulating equations and algorithms to represent its behavior and movement in various environments.

The results obtained from this project served as a fundamental basis for the successful creation of a graphical interface in ROS (Robot Operating System) and Gazebo, allowing the simulation and visualization of the behavior of the sanitizing robot in a virtual environment. This implementation in ROS and Gazebo facilitated a comprehensive analysis of the robot's performance in different situations and scenarios, enabling adjustments and improvements before its physical implementation.

The impact achieved was significant, as these results were not only used for simulation but were also carried out in the actual implementation of the sanitizing robot. This robot, based on the established models and parameters, became an effective tool for disinfecting sanitary environments, fulfilling its function accurately and efficiently.

Furthermore, this project culminated in the successful completion of a master's thesis, consolidating the theoretical and practical knowledge gained throughout the study. The combination of mathematical modeling, implementation in ROS and Gazebo, and the execution of the sanitizing robot reflects a comprehensive and applied approach, highlighting the utility and relevance of the research conducted in the field of mechatronics and robotics applied to environmental sanitization.

**Palabras clave:**

**Usuarios potenciales (del proyecto de investigación)**

**Reconocimientos**

Agradecimientos a la institución, estudiantes que colaboraron, instituciones que apoyaron a la realización del proyecto, etc.

## **1. Introducción**

## 2. Planteamiento

### 2.1 Antecedentes

La mecatrónica puede ser definida como la integración de varias ingenierías para el desarrollo de productos híbridos. A pesar de que existen varias definiciones de la mecatrónica, todas ellas convergen en la combinación de disciplinas como: mecánica, electrónica, control e informática. Es decir, la mecatrónica tiene un enfoque multidisciplinario que permite relacionar software y hardware, incorporando dispositivos inteligentes en los procesos productivos [1]. Asimismo, la mecatrónica se aplica principalmente en campos de la robótica, debido a que su alcance de estudio permite diseñar, construir, programar e implementar sistemas mecánicos capaces de obedecer instrucciones cargadas en un controlador o dadas por un usuario de manera remota.

En un principio, la robótica se encaminó hacia el desarrollo de robots manipuladores, puesto que tienen abundantes aplicaciones dentro del mundo de la industria. Sin embargo, son los robots móviles los que actualmente presentan un mayor auge, gracias a sus avances y aplicaciones de servicio en las que pueden ser implementados [2].

En cuanto a los robots móviles, estos son un dispositivo constituido por componentes mecánicos, electrónicos y de software que le permiten ir de un lugar a otro de manera autónoma. Los robots móviles son catalogados en 3 categorías basadas en su sistema de traslación (locomoción): de extremidades, de orugas y de ruedas [2]. No obstante, cualquier robot que entre en alguna de las 3 clasificaciones mencionadas tiene la capacidad de seguir trayectorias para desplazarse hacia una posición deseada [3].

De la misma forma en que los robots móviles se pueden clasificar por su locomoción, también pueden ser separados por el tipo de caminos que son aptos para conducir. Uno de los robots móviles que más interés de análisis ha despertado recientemente es el robot móvil omnidireccional. Particularmente, los robots móviles omnidireccionales se distinguen por sus habilidades para desplazarse en diferentes direcciones sin necesidad de modificar la configuración de sus ruedas, en otras palabras, pueden moverse en cualquier dirección de manera simultánea o independiente en su eje de traslación y de rotación. Por tanto, los robots móviles omnidireccionales están centrados principalmente en el diseño de sus ruedas, el sensado del entorno, el control de sus motores y las variantes que se puedan presentar durante su recorrido.

Cabe destacar la existencia de herramientas que permiten controlar y monitorear el funcionamiento del robot, así como obtener una retroalimentación continua de la posición, la velocidad, el ambiente y otras condiciones más que puedan contribuir en la eficiencia del dispositivo. Una de las herramientas más conocidas y utilizadas es Arduino, dado que es un microcontrolador que facilita la programación de recepción y emisión de señales sin necesidad de hardware

adicional. Aun así, cuenta con tarjetas de expansión para lograr conectarse con dispositivos por medio de ethernet, bluetooth, entre otros. Además, el programador cuenta con una extensa variedad de librerías dentro del software de Arduino para utilizar de acuerdo con las necesidades de la aplicación en que el robot va a estar funcionando [4].

Los robots móviles, a diferencia de otro tipo de robots, surgieron con la finalidad de implementar sistemas electromecánicos en aplicaciones fuera de la industria, tales como: exploración, minería, aplicaciones militares, agricultura, entrenamiento, rescate de personas, asistencia médica, servicios de limpieza, rehabilitación, de fines académicos, logística, por mencionar algunas [5].

De acuerdo con el objetivo general del presente documento, se recolectó información de trabajos realizados recientemente por distintos autores. En su mayoría, los trabajos mencionados a continuación están relacionados con el diseño e implementación de controladores para robots móviles omnidireccionales basados en distintos métodos.

Hsu-Chih et al. [3] desarrollaron un método de control para el seguimiento de trayectorias y estabilización de un robot móvil omnidireccional. Dicho método estuvo basado en un controlador adaptativo de backstepping que le permitió a un robot omnidireccional de 3 ruedas cumplir con su objetivo de ir a través de varios caminos y estabilizarse a pesar de las variables que este pudiera presentar.

En [6] se presenta un método de control de tipo backstepping para un robot móvil omnidireccional de 3 ruedas. El control propuesto fue establecido mediante la técnica de suma de cuadrados, la cual hizo posible la sintonización del controlador con el robot y de esa manera Zhao et al. [7] desarrollaron un esquema en el cual integraron tanto el control del movimiento como el de las fuerzas transmitidas por medio de un robot móvil omnidireccional. Dentro de esos controladores, plantearon uno de movimiento y uno inverso a él que se encarga de rastrearlo. Dichos controladores fueron diseñados en relación con modelos cinemáticos y dinámicos garantizan el movimiento correcto del robot a la par que optimizan la fuerza que requiere el robot para realizar sus trayectorias.

Dinh et al. [8] diseñaron un controlador de retroceso adaptativo para un robot omnidireccional de tres ruedas. El sistema de control fue fundamentado en una teoría de retroceso adaptativo para la estabilización de una plataforma omnidireccional móvil ante las alteraciones provocadas por las variables del entorno como la fricción, y así poder cumplir con su objetivo de seguimiento de trayectorias. Gracias al pronóstico de los parámetros variables, el sistema logró una actualización constante y absorber todas las incertidumbres.

En el 2012, Aziz et al. [9] desarrollaron una técnica para predecir la volcadura de un robot móvil omnidireccional. Para lograr el pronóstico de la volcadura, utilizaron una técnica basada en el cálculo de la fuerza neta que se ejerce tomando en cuenta las fuerzas de reacción en el soporte de cada una de sus ruedas para la medición de la estabilidad del robot y la dirección en que el robot se voltea.

Dourado et al. [10] diseñaron e implementaron un modelo para un robot omnidireccional de 3 ruedas. Dicho modelo fue desarrollado con base en la fricción estática del robot. Además, el artículo presenta una forma para calcular algunos otros tipos de fricción que pudiera presentar el robot, incluyendo la viscosa. El modelo utilizó variables como la fuerza y velocidad del centro de masa del robot midiéndolas a través de sensores, mediante las cuales obtuvieron velocidades lineales y angulares como señales de entrada y enviaron voltaje a los motores como señales de salida.

En este artículo Barreto et al. [11] proponen la implementación de un controlador predictivo tomando en cuenta el coeficiente de fricción durante el recorrido de caminos de un robot móvil omnidireccional de 3 ruedas. El controlador fue ligado con un modelo cinemático para la adquisición de la velocidad como una variable del control predictivo, buscando compensar la fricción estática del robot.

En el 2015, Peña et al. [12] implementaron un controlador para un robot móvil omnidireccional mediante el uso de lógica difusa. El control brindó al robot la capacidad para el seguimiento de trayectorias confiables a través de sus 4 ruedas. El módulo se implementó en un FPGA y consiguió la conducción independiente de cada una de sus llantas gracias a la técnica de lógica difusa. Además, agregaron a su sistema una conexión entre el FPGA y otro dispositivo mediante bluetooth.

Un controlador para administrar la velocidad de operación de cada una de las ruedas de un robot móvil omnidireccional fue desarrollado por Sáenz et al. [13] utilizando un modelo dinámico y cinemático. Lograron obtener una estabilidad en el control de lazo cerrado, gracias a que el modelo cuenta con una retroalimentación constante que engloba algunos parámetros de los motores del robot NEXUS RB011.

En este artículo Li et al [14] propusieron un método para el control del seguimiento de trayectorias de un robot móvil no holonómico sin las mediciones de su posición, velocidad y orientación. El controlador fue apoyado en un algoritmo de recepción de la velocidad y posición del robot mediante la señal de visión de una cámara omnidireccional.

## 2.2 Marco teórico

El marco teórico subyacente al proyecto de "Modelado Matemático y Parametrización de un Robot Móvil con Ruedas" ha sido un compendio integral de los principios y teorías fundamentales en el campo de la ingeniería robótica y mecatrónica.

En el estudio de la cinemática y dinámica de robots móviles, se abordaron los conceptos inherentes a la traslación y rotación, junto con el análisis detallado del movimiento y comportamiento de sistemas móviles con ruedas. Se desarrollaron ecuaciones cinemáticas y dinámicas que rigieron la relación intrínseca entre las entradas del sistema, referentes a los comandos de movimiento de las ruedas, y las salidas, representadas por la posición y orientación global del robot. Estos modelos matemáticos contemplaron meticulosamente variables determinantes,

como la fricción, inercia y las características específicas de los motores de las ruedas.

La integración de sensores y la percepción fueron pilares cruciales. Se investigaron y aplicaron algoritmos de percepción sensorial para interpretar los datos adquiridos del entorno. La utilización estratégica de sensores de proximidad, cámaras y LIDAR permitió la adquisición y procesamiento eficiente de información para el mapeo y la detección ambiental.

En el ámbito del control y la planificación de movimiento, se emplearon teorías avanzadas para garantizar la ejecución precisa y segura de las acciones del robot. Se implementaron algoritmos de planificación de trayectorias, basados en técnicas de optimización y navegación, permitiendo la movilidad eficiente del robot tanto en entornos conocidos como desconocidos.

La implementación práctica se llevó a cabo en entornos de desarrollo de vanguardia, con un enfoque primordial en la plataforma ROS y el simulador Gazebo. Esta elección facilitó la validación exhaustiva de los modelos y algoritmos propuestos, mediante la simulación rigurosa del comportamiento del robot en un contexto virtual.

La aplicación específica en sanitización implicó la adaptación y la consideración de desafíos únicos en la implementación de robots móviles para la desinfección de entornos sanitarios, lo que contribuyó a la consolidación de conocimientos y técnicas especializadas en este campo.

En suma, este marco teórico proporcionó los cimientos esenciales que permitieron la realización exitosa del proyecto, cuyo énfasis radicó en la comprensión profunda y la aplicación concreta de principios teóricos en la materialización de un robot móvil con ruedas, destinado a la sanitización de entornos.

### 3. Objetivos (general y específicos)

**Los objetivos originales del proyecto fueron los siguientes.**

#### **Objetivo general**

Identificar los parámetros dinámicos de un robot móvil omnidireccional basado en Arduino con el fin de diseñar esquemas de control de posición y velocidad

#### **Objetivos específicos**

1. Integrar los componentes físicos del robot y establecer una conexión entre el software y la tarjeta de Arduino.
2. Obtener la señal de velocidad de los motores como una entrada en la tarjeta de Arduino.
3. Identificar los parámetros dinámicos de los motores.

4. Simular un control de regulación a un punto con el robot móvil omnidireccional considerando la dinámica de los motores.

Debido a que se avanzó de manera rápida en el proyecto los objetivos se revisaron y se decidió mejorarlos; así que, los objetivo revisados son los siguientes:

#### **Objetivo General (Revisado):**

Desarrollar un modelo matemático y una parametrización precisa de un robot móvil con ruedas, y aplicar este modelo en la creación de una interfaz gráfica en ROS y Gazebo para la simulación y validación del comportamiento del robot sanitizador en entornos virtuales y reales.

#### **Objetivos Específicos (Revisados):**

1. Refinar y ampliar el modelo matemático del robot móvil para considerar con mayor precisión la interacción con el entorno y los sistemas de movimiento de ruedas, con el fin de mejorar su exactitud y fiabilidad.
2. Mejorar la interfaz gráfica en ROS y Gazebo mediante la integración de más sensores y algoritmos de percepción, permitiendo una simulación más realista y detallada del comportamiento del robot sanitizador.
3. Implementar y validar el modelo mejorado del robot sanitizador en entornos reales, evaluando su desempeño en la desinfección de ambientes sanitarios y optimizando su eficiencia operativa.
4. Documentar exhaustivamente los avances y mejoras realizadas en la tesis de maestría, presentando un análisis detallado de los resultados obtenidos, las modificaciones implementadas y las conclusiones derivadas de la aplicación práctica de los modelos y la interfaz desarrollada.

Estos objetivos revisados surgieron a partir de una reevaluación continua durante el desarrollo del proyecto, permitiendo una mejora progresiva y una adaptación a las necesidades emergentes, con el propósito de lograr resultados más sólidos y aplicables en el campo de la sanitización robótica.

## **4. Metodología**

La metodología empleada para llevar a cabo el proyecto de "Modelado Matemático y Parametrización de un Robot Móvil con Ruedas", así como la implementación de una interfaz gráfica en ROS y Gazebo para un robot sanitizador, se fundamentó en un enfoque sistemático y científico que involucró las siguientes etapas:

- 1. Revisión Bibliográfica:** Se llevó a cabo una revisión exhaustiva de la literatura científica y técnica relacionada con la cinemática y dinámica de robots móviles, así como con la implementación de sensores, algoritmos de percepción y aplicaciones en el campo de la sanitización robótica.
- 2. Identificación de Requerimientos:** Se definieron los requerimientos técnicos y funcionales del robot sanitizador, así como de la interfaz en ROS y Gazebo, en base a las necesidades del proyecto y los estándares de desempeño esperados.
- 3. Modelado Matemático:** Se procedió a desarrollar un modelo matemático detallado del robot móvil, considerando la dinámica de sus componentes, el movimiento de las ruedas y los parámetros físicos relevantes. Este modelo se refinó continuamente mediante pruebas de validación y ajustes derivados de simulaciones.
- 4. Desarrollo de la Interfaz Gráfica en ROS y Gazebo:** Se diseñó y programó una interfaz gráfica en ROS y se implementó en el simulador Gazebo para la representación visual y la simulación del comportamiento del robot sanitizador. Se integraron los modelos matemáticos desarrollados y se incorporaron sensores virtuales para reflejar fielmente el entorno.
- 5. Experimentación y Validación:** Se llevaron a cabo pruebas exhaustivas tanto en entornos simulados como reales. Se evaluó el desempeño del robot sanitizador a través de pruebas de navegación, mapeo del entorno y desinfección. Se registraron y analizaron los datos resultantes para ajustar parámetros y mejorar la precisión del modelo.
- 6. Documentación y Presentación de Resultados:** Se documentaron detalladamente todos los pasos, resultados y hallazgos obtenidos durante el proyecto. Se preparó una tesis de maestría que incluyó un análisis riguroso de los resultados, las mejoras implementadas y sus implicaciones en el contexto de la sanitización robótica.

Esta metodología, estructurada y científicamente fundamentada, permitió el desarrollo progresivo y efectivo del proyecto, desde la concepción del modelo matemático hasta la implementación exitosa de un robot sanitizador funcional y la presentación de resultados concluyentes en la tesis de maestría.

## 5. Instituciones, organismos o empresas de los sectores social, público o productivo participantes (Si aplica)

## 6. Resultados

El proyecto de "Modelado Matemático y Parametrización de un Robot Móvil con Ruedas" arrojó resultados significativos en relación con la interfaz gráfica desarrollada en ROS y la planificación de trayectorias del sistema.

### **Interfaz Gráfica en ROS y Gazebo:**

La implementación de la interfaz gráfica en ROS, integrada con el simulador Gazebo, representó un logro destacado en la visualización y simulación del comportamiento del robot sanitizador. Esta interfaz permitió una representación gráfica precisa del entorno, el robot y sus componentes, facilitando la observación detallada y la validación visual de las acciones del sistema en tiempo real.

Se logró una integración exitosa de los modelos matemáticos desarrollados, lo que permitió la visualización de las trayectorias planificadas y la interacción del robot con su entorno simulado. La interfaz gráfica proporcionó una herramienta efectiva para la comprensión visual del funcionamiento del robot, permitiendo ajustes y mejoras en su comportamiento antes de su implementación física.

### **Planificación de Trayectorias:**

La planificación de trayectorias se llevó a cabo con éxito, utilizando algoritmos avanzados que permitieron al robot móvil navegar de manera eficiente y segura en entornos complejos. Se implementaron técnicas de planificación de rutas que optimizaron el movimiento del robot, considerando obstáculos y restricciones del entorno.

La precisión y suavidad en las trayectorias generadas fueron evidentes durante las simulaciones realizadas en el entorno virtual. El robot demostró una capacidad notable para seguir las trayectorias planificadas de manera precisa, minimizando desviaciones y adaptándose de manera adecuada a cambios en el entorno simulado.

En resumen, los resultados obtenidos en la implementación de la interfaz gráfica en ROS y la planificación de trayectorias del sistema fueron altamente satisfactorios y representaron avances significativos en el desarrollo y la validación del comportamiento del robot sanitizador en entornos simulados, estableciendo bases sólidas para su desempeño futuro en aplicaciones del mundo real.

**Estos resultados se pueden ver en los productos obtenidos a partir de este proyecto.**

## **7. Productos generados**

El esfuerzo y la dedicación del equipo de investigación de este proyecto han dado lugar a resultados sobresalientes que han sido reconocidos a nivel internacional y académico.

**Dos artículos presentados en el Congreso** Internacional de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología (CICITEC 2021) han destacado los avances significativos logrados por nuestro equipo. El primero, titulado "Interfaz gráfica para el control de seguimiento de trayectorias de un robot sanitizador en espacios controlados", expone la creación de una interfaz innovadora que facilita el control preciso y eficiente del robot sanitizador en diferentes entornos.

El segundo artículo, titulado "Sistema de navegación de un robot móvil para aplicación de desinfección de locales con luces ultravioletas", resalta la implementación exitosa de un sistema de navegación avanzado que permite la aplicación efectiva de desinfección utilizando luces ultravioletas en entornos específicos.

Además, el equipo de investigación ha contribuido significativamente al campo académico mediante la **publicación de un artículo en la revista indexada RECIT**, detallando a fondo los desarrollos y descubrimientos clave alcanzados en el proyecto de sanitización robótica.

El **reconocimiento en los Coloquios Internos** de la universidad, donde nuestro equipo obtuvo el **primer lugar a través de un póster detallando los avances y logros obtenidos en este proyecto**, subraya la excelencia y el impacto de nuestro trabajo en la comunidad académica local.

Es importante destacar que estos logros no solo representan avances significativos en la investigación en robótica aplicada, sino que también han contribuido al crecimiento académico de nuestros estudiantes. La culminación de estos productos científicos y **la obtención del grado de maestro en ciencias por parte de uno de nuestros alumnos**, son testimonio del compromiso y la calidad de la formación académica brindada en nuestra institución.

Estos logros reflejan el compromiso continuo de nuestro equipo con la innovación, la excelencia académica y el avance en el campo de la robótica aplicada, dejando una huella significativa tanto en el ámbito académico como en la investigación de vanguardia en ingeniería y tecnología.

## 8. Conclusiones

El proyecto de "Modelado Matemático y Parametrización de un Robot Móvil con Ruedas", junto con la implementación de una interfaz gráfica en ROS y la planificación de trayectorias del sistema, ha representado un hito significativo en el campo de la ingeniería robótica, particularmente en la aplicación de robots para la sanitización de entornos.

La meticulosa formulación y refinamiento del modelo matemático del robot móvil ha sido fundamental para comprender y representar con precisión su comportamiento dinámico. Este modelo, integrado con éxito en la interfaz gráfica en ROS y Gazebo, permitió una representación visual detallada del robot y su entorno, lo que facilitó la simulación y validación de su desempeño antes de su implementación física.

La planificación de trayectorias del sistema, mediante algoritmos de vanguardia, ha destacado la capacidad del robot para navegar eficientemente en entornos complejos. La suavidad y precisión en las trayectorias planificadas evidenciaron la efectividad de los algoritmos implementados, ofreciendo un desplazamiento preciso y adaptable a diferentes condiciones del entorno.

Estos logros, aunque significativos, también han revelado áreas de mejora. La necesidad de una mayor robustez en la percepción del entorno y la optimización de la planificación de trayectorias para adaptarse a condiciones dinámicas emergentes se perfilan como direcciones futuras cruciales para mejorar la efectividad y versatilidad del robot sanitizador.

En conclusión, el proyecto ha proporcionado una base sólida para la implementación de robots móviles en aplicaciones de sanitización. La integración exitosa de modelos matemáticos complejos, la interfaz gráfica funcional en ROS y Gazebo, junto con la planificación precisa de trayectorias, sientan las bases para futuras investigaciones y aplicaciones en el campo de la robótica aplicada a la sanitización de entornos, con el potencial de impactar positivamente en la salud pública y la seguridad.

## **9. Mecanismos de transferencia. (Si aplica)**

## 10. Contribución e impacto del proyecto

La contribución y el impacto derivados del proyecto de "Modelado Matemático y Parametrización de un Robot Móvil con Ruedas", así como la implementación de una interfaz gráfica en ROS y la planificación de trayectorias del sistema, son significativos en varios aspectos:

### **Contribución:**

1. Avance en la Ingeniería Robótica: El proyecto ha contribuido al avance de la ingeniería robótica al desarrollar y perfeccionar un modelo matemático detallado para la representación precisa del comportamiento dinámico de un robot móvil. Esta contribución técnica es fundamental para futuras investigaciones y desarrollos en el campo de la robótica móvil.
2. Desarrollo de Herramientas Tecnológicas: La implementación exitosa de la interfaz gráfica en ROS y Gazebo representa una herramienta tecnológica valiosa para la simulación y visualización del comportamiento de robots en entornos virtuales. Esta contribución ofrece una plataforma versátil para el diseño y la validación de robots móviles en diversas aplicaciones.
3. La capacidad de planificar trayectorias precisas y la representación visual detallada del robot sanitizador ofrecen perspectivas prometedoras para la implementación efectiva de robots en tareas de desinfección.

### **Impacto:**

1. La capacidad del robot para navegar de manera autónoma y seguir trayectorias planificadas con precisión ofrece un método más eficiente y sistemático para la desinfección, lo que podría tener un impacto positivo en la prevención de enfermedades infecciosas.

2. **Potencial de Aplicación en Diversos Sectores:** La tecnología y los conceptos desarrollados tienen un alcance amplio y pueden ser aplicados no solo en el ámbito sanitario, sino también en industrias como la manufactura, logística o servicios, donde la movilidad autónoma y la desinfección son fundamentales.
  
3. **Estímulo para Futuras Investigaciones:** El proyecto sirve como punto de partida para investigaciones futuras en el desarrollo de robots móviles más avanzados, la optimización de algoritmos de planificación de trayectorias y la integración de sistemas de percepción más sofisticados, abriendo nuevas oportunidades para la innovación en la robótica aplicada.

En resumen, la contribución técnica y el impacto potencial en la mejora de la eficiencia sanitaria posicionan este proyecto como un hito significativo en el campo de la robótica aplicada, con implicaciones prometedoras para la salud pública y el desarrollo tecnológico.

## **11. Impacto económico, social y/o ambiental en la región**

### **Impacto Económico:**

La viabilidad económica de la implementación de sistemas de sanitización robótica podría derivar en la generación de empleo especializado y oportunidades de capacitación en tecnologías de vanguardia. La innovación en este ámbito también podría atraer inversiones en investigación y desarrollo, potencialmente catalizando el crecimiento económico local y regional.

### **Impacto Social:**

El impacto social de los sistemas de sanitización robótica radica en su contribución potencial a la mejora de la salud pública. La implementación exitosa de estos sistemas podría resultar en un entorno más seguro y confiable, reduciendo la propagación de enfermedades infecciosas y promoviendo una mayor confianza en entornos sanitarios.

### **Impacto Ambiental:**

Los efectos ambientales de la sanitización robótica pueden manifestarse en la reducción del uso de productos químicos agresivos, en línea con prácticas de desinfección más sostenibles. La eficiencia operativa de estos sistemas podría traducirse en un menor consumo de recursos, como agua y energía, y potencialmente reducir la generación de residuos asociados con métodos de desinfección convencionales.

En conjunto, la exploración de sistemas de sanitización robótica en una fase experimental presenta perspectivas prometedoras en términos de su potencial impacto económico, social y ambiental en la región. El desarrollo y aplicación de esta tecnología podrían conducir a beneficios significativos, impulsando la innovación y el avance en la región, así como en campos relacionados con la salud, el medio ambiente y la economía.

### **12. Referencias (bibliografía)**

[1] Harashima F., Tomizuka M. and Fukuda T., "What Is It, Why, and How? An edito- rial,"IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 1, no. 1, pp. 1-4, marzo de 1996.

[2] Silva Ortigoza R., Aranda M., Silva Ortigoza G., Guzmán V. , Vilvhis M., González G. , Lozada J. and Carbajal M. , "Wheeled Mobile Robots: A review,"IEEE Latin America Transactions, vol. 10, no. 6, pp. 2209-2217, diciembre de 2012.

[3] Hsu-Chih H. and Ching-Chih T., "Adaptive Trajectory Tracking and Stabilization for Omnidirectional Mobile Robot with Dynamic Effect and Uncertainties,"IFAC Proceedings Volumes, vol. 41, no. 2, pp. 5383-5388, 2008.

[4] Martinez Santos J. C. , Acevedo Patino O. and Contreras Ortiz S. H. , "Influence of Arduino on the Development of Advanced Microcontrollers Courses,"IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje, vol. 12, no. 4, pp. 208-217, 2017.

- [5] Woojin C., Changbae M., Changbae J. and Jiyong J. , "Design of the Dual Offset Active Caster Wheel for Holonomic Omni-Directional Mobile Robots," *International Journal of Advanced Robotic Systems*, vol. 7, no. 4, pp. 101-106, 2010.
- [6] Chen S., Juang J. and Su S., "Backstepping Control with Sum of Squares Design for Omnidirectional Mobile Robots" 2009 ICCAS-SIC, Fukuoka, Japan, 2009.
- [7] Zhao D., Deng X. and Yi J., "Motion and Internal Force Control for Omnidirectional Wheeled Mobile Robots," *IEEE/ASME Transaction on Mechatronics*, vol. 14, no.3 pp. 382-387 , 2009.
- [8] Dinh V. T., Doan P. T., Giang H., Kim H. K. and Kim S. B., " Motion Control of an Omnidirectional Mobile Platform for Path Following using Adaptive Backstepping Tech- nique," 2011 2nd International Conference on Engineering and Industries (ICEI), Jeju, South Korea , 2011.
- [9] Aziz Safar M. J., Watanabe K., Maeyama S. and Nagai I. , "Tip-Over Prediction for Omnidirectional Mobile Robot," *Procedia Engineering*, vol. 41, pp. 1085-1094 , 2012.
- [10] Dourado Correia M. and Scolari Concei,c~ao A. G. , "Modeling of a Three Wheeled Omni- directional Robot Including Friction Models," *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 45, no. 22 pp. 7-12 , 2012.
- [11] Barreto J. C., Scolari Concei,c~ao A. G., Dorea C. E. , Martinez L. and De Pieri E. R. , " Design and Implementation of Model-PredictiveControl With Friction Compensation on an Omnidirectional Mobile Robot," *IEEE/ASME Transaction on Mechatronics*, vol. 19, no.2 pp. 467-476 , 2014.
- [12] Peña M., Gomez J. A. , Osorio Comparan R. , Lopez Juarez I. , Lomas V. and Lefranc G., "Fuzzy Logic for Omni directional Mobile Platform Control Displacement using FPGA and Bluetooth," *IEEE Latin America Transactions*, vol. 13, no.6 pp. 1907-1914 , 2015.

- [13] Sáenz J., Santibáñez V. and Bugarin E., "Control de Velocidad de un Robot Omnidireccional con Dinámica de Actuadores," *AMRob Journal, Robotics: Theory and Applications*, vol. 4, pp. 1-6 , 2016.
- [14] Li L. , Liu Y. , Jiang T. , Wang K. and Fang M.. , " Adaptive Trajectory Tracking of Nonholonomic Mobile Robots using Vision-Based Position and Velocity Estimation," *IEEE Transactions on Cybernetics*, vol. 48, no.2 pp. 571-582 , 2018.
- [15] Luyang L. , Yun-Hui L. , Kai W. and Mu F., "Estimating Position of Mobile Robots from Omnidirectional Vision Using an Adaptive Algorithm," *Transactions On Cybernetics*, Vol. 45, No. 8, pp. 1633-1646, 2015
- [16] Jianfeng L. , Zheng C. and Bin Y. , "Performance-Oriented Coordinated Adaptive Robust Control for Four-Wheel Independently Driven Skid Steer Mobile Robot," *IEEE Access*, Vol. 5, pp. 19048-19057, 2017
- [17] Sung Jin Y. and Bong Seok P. , "Formation Tracking Control for a Class of Multiple Mobile Robots in the Presence of Unknown Skidding and Slipping," *IET Control Theory Appl.*, Vol. 7, No. 5, pp. 635–645, 2013
- [18] Ortigoza R. S., Sánchez J. R. G. , Guzmán V. M. H. , Sánchez C. M. and Aranda M. M. , "Trajectory Tracking Control for a Differential Drive Wheeled Mobile Robot Considering the Dynamics Related to the Actuators and Power Stage," *IEEE Latin America Transactions*, Vol. 14, No.2, pp. 657-664, 2016
- [19] Lashkari N., Biglarbegian M. and Yang S. X. , "Development of a New Robust Controller With Velocity Estimator for Docked Mobile Robots: Theory and Experiments," *IEEE/ASME Transactions On Mechatronics*, Vol. 22, No. 3, pp. 1287-1298 , 2017
- [20] Chih-Lyang H., Hsiu-Ming W., "Trajectory Tracking of a Mobile Robot with Frictions and Uncertainties using Hierarchical Sliding-Mode Under-

Actuated Control, " IET Control Theory Applications, Vol. 7, No. 7, pp. 952–965, 2013

[21] Yang H., Guo M., Xia Y. and Cheng L., "Trajectory Tracking for Wheeled Mobile Robots Via Model Predictive Control with Softening Constraints," IET Control Theory and Applications, Vol. 12, No. 2, pp. 206-214, 2018

[22] Howard T. M., Pivtoraiko M. , Knepper R. A. and Kelly A., "Model-Predictive Motion Planning: Several Key Developments for Autonomous Mobile Robots," IEEE Robotics and Automation Magazine, Vol. 21, No. 1, pp.64-73, 2014.

[23] Li Z. , Deng J. , Lu R. , Xu Y. , Bai J. and Su C. Y. , "Trajectory-Tracking Control of Mobile Robot Systems Incorporating Neural-Dynamic Optimized Model Predictive Approach," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, vol. 46, no. 6, pp. 740- 749, 2016

[24] Chih-Lyang H. and Wei-Li F. , "Global Fuzzy Adaptive Hierarchical PathTracking Control of a Mobile Robot With Experimental Validation," IEEE Transactions On Fuzzy Systems, Vol. 24, No. 3, pp. 724-740, 2016

[25] Al Mamun M. A. , Nasir M. T. and Khayyat A. , "Embedded System for Motion Control of an Omnidirectional Mobile Robot," IEEE Access, Vol. 6, pp. 6722-6739, 2018

[26] Sánchez C. M. , Sánchez J. R. G. , Cervantes C. Y. S. , Ortigoza R. S. , Guzmán V. M. H. , Juárez J. N. A. and Aranda M. M. , "Trajectory Generation for Wheeled Mobile Robots Via Bézier Polynomials," IEEE Latin America Transactions, Vol. 14, No. 11, pp. 4482-4490, 2016

[27] Drake D. , Koziol S. and Chabot E. , "Mobile Robot Path Planning With a Moving Goal," IEEE Access, Vol.6 , pp. 12800-12814, 2018

[28] Yunjeong K. and Byung Kook K. , "Time-Optimal Trajectory Planning Based on Dynamics for Differential-Wheeled Mobile Robots With a

Geometric Corridor,” IEEE Transactions On Industrial Electronics, Vol. 64, No. 7, pp. 5502-5512 , 2017

[29] Chih-Hung W., I-Sheng L., Ming-Liang W. and Tain-Yu C., “Target Position Estimation by Genetic Expression Programming for Mobile Robots With Vision Sensors,” IEEE Transactions On Instrumentation And Measurement, Vol. 62, No. 12, pp. 3218-3230, 2013

[30] Dongkyoung C., “Robust Distance-Based Tracking Control of Wheeled Mobile Robots Using Vision Sensors in the Presence of Kinematic Disturbances,” IEEE Transactions On Industrial Electronics, Vol. 63, No. 10, pp. 6172-6183, 2016

[31] Shuang L. and Dong S., “Minimizing Energy Consumption of Wheeled Mobile Robots via Optimal Motion Planning,” IEEE/ASME Transactions On Mechatronics, Vol. 19, No. 2, pp. 401-411, 2014

## 13. Anexos

### 13.1 Taxonomía de los Roles de Colaborador (con las actividades logradas)

Roles	Definición de los roles	Nombre de él(la) investigador(a)	Figura	Grado de contribución	Actividades logradas durante el proyecto	Tiempo promedio semanal (en horas) dedicado al proyecto
1. Responsabilidad de la dirección del proyecto	Coordinar la planificación y ejecución de la actividad de investigación. Organiza los roles de cada colaborador, tiene la habilidad de identificar potenciales de cada individuo para generar una sinergia de equipo colaborativo.	Angel Israel Soto Marrufo	Director(a) del proyecto	- Principal	Organizar las actividades de cada una de las etapas	10
2. Responsabilidad de supervisión	Elaborar la planificación de las actividades de la investigación (cronogramas y controles de	Francesco García Luna	Supervisor(a) del proyecto	- Principal o - De apoyo	Planificar las actividades y darles seguimiento	10

	seguimiento), describe los roles identificados por el director del proyecto y facilita el apoyo constante a todos los roles para conseguir un trabajo integral, coherente y que llegue a buen término.		to			
- <b>Realización y redacción de la propuesta</b>	Preparación, creación y redacción de la propuesta de investigación, específicamente la redacción, revisión de coherencia del texto, presentación de los datos y la normatividad aplicable para garantizar el cumplimiento de los requisitos.	Angel Israel Soto Marrufo	Redactor de la propuesta	- Principal o - De apoyo	Redactar la propuesta de investigación	2
- <b>Desarrollo o diseño de la metodología</b>	Contribuir con el diseño de la metodología, modelos a implementar y el sustento teórico, empírico y científico para la aplicabilidad de los instrumentos en la ejecución del proyecto.	Angel Israel Soto Marrufo Israel Ulises Ponce	Diseñador de la metodología	- Principal o - De apoyo	Preparar la metodología del proyecto y darle seguimiento	6
- <b>Recopilación/recolección de datos e información</b>	Ejecuta las estrategias propuestas en acciones encaminadas a obtener la información, haciendo la recopilación de datos y la inclusión de la evidencia en el proceso.	Adriana Salinas Ávila	Recopilador de datos	- Principal o - De apoyo	Recolectar los datos e información de los resultados	10
- <b>Elaboración del análisis formal de la investigación</b>	Aplicar métodos estadísticos, matemáticos, computacionales, teóricos u otras técnicas formales para analizar o sintetizar los datos del estudio. Verifica los resultados preliminares de cada etapa del análisis, los experimentos implementados y otros productos comprometidos en el proyecto.	Angel Israel Soto Marrufo Francesco García Luna Israel Ulises Ponce	Analista de datos	- Principal o - De apoyo	Analizar los datos de manera formal	2
- <b>Preparación, creación y/o presentación de los productos o entregables</b>	Preparar la redacción del reporté técnico de avance parcial y el reporte técnico final. Se hace la revisión crítica, la recopilación de las observaciones y comentarios del grupo de investigación. Y finalmente se procede a la edición del documento a entregar.	Angel Israel Soto Marrufo Francesco García Luna Adriana Salinas Ávila	Editor de reportes técnicos	- Principal o - De apoyo	Preparar la información con el fin de obtener los productos entregables	2

### 13.1.1 Estudiantes participantes en el proyecto

<b>Nombre de estudiante(s)</b>	<b>Matrícula</b>	<b>Tiempo promedio semanal (en horas) dedicado al proyecto</b>	<b>Actividades logradas en la ejecución del proyecto</b>
Carlos Guillermo Miguez Machado	206563	20	Participación en Coloquios, Congresos, redacción de Artículos.

#### CONSIDERACIONES:

- Los reportes deben estar escritos en español o en inglés.
- Se debe entregar en formato PDF acorde a este formato.
- El texto debe ser escrito en hoja tamaño carta a espacio y medio, y los márgenes deberán encontrarse al menos a una pulgada (2.54 cm). La totalidad del texto debe escribirse en minúsculas, utilizando las mayúsculas sólo al principio de las oraciones y para los títulos de capítulos.
- Se recomienda usar el tipo de letra Arial tamaño 10 o Times New Roman tamaño 12.
- Todas las páginas deben estar numeradas en secuencia comenzando desde la portada.
- La extensión total del texto es de un mínimo de 10 cuartillas y un máximo de 30 cuartillas, con un interlineado de espacio y medio.
- Integrar en la sección de anexos las tablas y gráficas.
- Las figuras, fotografías y tablas, serán insertadas en el cuerpo del texto y numeradas en forma consecutiva comenzando con 1 y de manera independiente de las tablas. El número y descripción de la figura, tabla, etc., deberá colocarse antes de la misma.
- Se recomienda evitar el uso de sombras y líneas punteadas que no permitan una legibilidad clara de imágenes.
- Las fórmulas y ecuaciones deben hacerse con un editor de ecuaciones como el disponible en el procesador de textos Word. Estarán centradas y separadas del texto. La numeración será consecutiva comenzando con el número 1. El número de la fórmula deberá

encerrarse entre paréntesis y colocarse a la derecha de la fórmula lo más cercano posible al margen derecho.

- Las referencias bibliográficas en el texto deben ser en cualquier estilo reconocido como APA, MLA, ISO, etc.
- Los anexos se colocarán al final del documento después de la bibliografía, utilizando caracteres alfabéticos para distinguirlos: Anexo A, Anexo B, etc. La información contenida en los anexos es importante pero no indispensable para la comprensión del trabajo. Se recomienda colocar en los anexos mapas, fotografías, tablas, desarrollos matemáticos, diagramas, etc.
- La Taxonomía de los Roles de Colaborador, incluyendo la explicación de su llenado y las actividades a desarrollar, está disponible en los Términos de Referencia de los Proyectos Sin financiamiento, en el numeral 4.4.1 y en la tabla 1. Se debe integrar la tabla correspondiente en el apartado de los anexos y (en este caso sí deberá llevar los nombres de los investigadores propuestos en cada rol).