



**Dra. Magali Arellano Vázquez**

Doctora en Ciencias de la Computación

**Candidata o Candidato a Investigadora o Investigador Nacional (SNII-C) (2022-2025)**

Datos de contacto:

[magali.arellano@infotec.mx](mailto:magali.arellano@infotec.mx)  
(55) 5624 2800 ext. 6204



## Desarrollo de software para optimizar las capacidades de conducción autónoma en el vehículo a escala 'Autominy' como base para el futuro desarrollo de sistemas de transporte público autónomo

### Datos Generales

#### Resumen ejecutivo

Este proyecto de investigación tiene como objetivo principal optimizar las capacidades de conducción autónoma de un vehículo a escala "Autominy", mediante el desarrollo de software utilizando el sistema operativo Robot Operating System (ROS). La propuesta busca sentar las bases para el futuro desarrollo de sistemas de transporte público autónomo, estableciendo una colaboración activa con estudiantes en estadías de universidades tecnológicas. Esto les permitirá participar en el desarrollo de software para este vehículo autónomo a escala, con el fin de mejorar sus habilidades en programación, inteligencia artificial y sistemas embebidos aplicados a la conducción autónoma.

#### Línea General y Aplicación del Conocimiento (LGAC)

6. Diseño y desarrollo de sistemas embebidos inteligentes para aplicaciones industriales, biomédicas e internet de las cosas

#### Palabras clave

Conducción Autónoma, algoritmos de navegación, desarrollo de software

#### Objetivo General

El objetivo es desarrollar y optimizar el software para mejorar las capacidades de conducción autónoma del vehículo a escala Autominy, mediante la implementación de rutinas de conducción autónoma y la configuración de un entorno de desarrollo integrado con ROS (Robot Operating System) y Gazebo (entorno de simulación de ROS). Este proyecto no solo busca incrementar la autonomía del vehículo a escala, sino también validar y perfeccionar de manera eficiente su rendimiento a través de simulaciones virtuales en Gazebo antes de las pruebas en el mundo real. El propósito principal es lograr un vehículo a escala Autominy con capacidades autónomas optimizadas y validadas virtualmente en Gazebo, respaldado por un conjunto de pruebas en una pista del laboratorio de sistemas embebidos y la respectiva documentación, sentando las bases para el futuro desarrollo de sistemas de transporte público autónomo.

#### Objetivos específicos

Desarrollar rutinas autónomas, como reconocimiento de señales y detección de obstáculos. Configurar un entorno de desarrollo con ROS para asegurar interoperabilidad. Implementar las nuevas rutinas en la plataforma de simulación en Gazebo para pruebas virtuales y ajustes de rutinas. Evaluar el rendimiento del vehículo en condiciones controladas y reales mediante pruebas físicas y simulaciones en Gazebo.

### Datos del proyecto



### Descripción

El proyecto se basa en el desarrollo y perfeccionamiento de las capacidades de un vehículo a escala con conducción autónoma. Este esfuerzo se ve impulsado por la donación del Centro de Investigación en Matemáticas (CIMAT), que ha proporcionado el vehículo como plataforma para el desarrollo de software del prototipo. En el núcleo del proyecto, se encuentra la implementación de nuevas rutinas autónomas, tales como el reconocimiento de señales, la planificación de rutas, la interacción vehículo-peatón y la detección de obstáculos dinámicos. La configuración del entorno de desarrollo se realiza con el sistema operativo ROS, asegurando la interoperabilidad eficiente de los diversos componentes del sistema. ROS (Robot Operating System) es un framework de código abierto ampliamente utilizado en el campo de la robótica. Proporciona una colección de herramientas, bibliotecas y convenciones que simplifican la tarea de crear aplicaciones robóticas complejas y robustas. Una característica destacada del proyecto es la integración de Gazebo como plataforma de simulación. Gazebo es un simulador 3D de código abierto ampliamente utilizado en el campo de la robótica. Forma parte del conjunto de herramientas de ROS (Robot Operating System) y se integra estrechamente con él. Gazebo permite crear entornos virtuales realistas y simulaciones de robots y sensores. Esto permite realizar pruebas virtuales realistas y ajustes iterativos en las rutinas autónomas, acelerando el proceso de desarrollo y garantizando un rendimiento óptimo en escenarios virtuales y reales. La evaluación del rendimiento se llevará a cabo en condiciones controladas y reales, abarcando pruebas físicas y simulaciones en Gazebo. El proyecto no solo busca avanzar en la tecnología de vehículos autónomos a escala, sino también se posiciona como una plataforma educativa y colaborativa. Autominy proporciona a estudiantes de nivel superior la oportunidad de participar activamente en el desarrollo de tecnologías de vanguardia. Fomenta la colaboración interinstitucional y la difusión del conocimiento en eventos académicos, contribuyendo significativamente al campo dinámico de la conducción autónoma y a la educación en sistemas embebidos.

### Antecedentes del problema a resolver

El vehículo "Autominy" ha sido desempeñado un papel crucial en diversos proyectos de investigación científica, abarcando áreas fundamentales: 1. Desarrollo de algoritmos de navegación: Implementación de algoritmos para la navegación segura y eficiente en entornos urbanos, rurales y todoterreno, destacando la adaptabilidad del Autominy. 2. Planificación de rutas óptimas: Desarrollo de algoritmos que permiten la planificación de rutas óptimas considerando obstáculos, tráfico y otras restricciones, optimizando la eficiencia del desplazamiento. 3. Control de movimiento preciso: Diseño de algoritmos para el control preciso y seguro del movimiento, incluso en situaciones de alta velocidad o con obstáculos imprevistos, resaltando la agilidad y seguridad del Autominy. 4. Detección y reconocimiento de objetos: Desarrollo de algoritmos para la detección y reconocimiento de objetos en su entorno, desde vehículos y peatones hasta señales de tráfico, fundamentales para la percepción del entorno. 5. Estimación de la pose y realidad aumentada: Implementación de algoritmos para la estimación precisa de la posición y orientación del Autominy, complementada con el uso estratégico de realidad aumentada para información adicional. 6. Desarrollo de interfaces de usuario e interacción multimodal: Creación de interfaces intuitivas y el diseño de interacciones multimodales, permitiendo a los usuarios controlar el Autominy de manera fácil e intuitiva, mejorando la accesibilidad. En el contexto de estas tendencias, el uso del Autominy representa un acercamiento a la investigación en vehículos autónomos. Además, se alinea con los continuos avances en inteligencia artificial, aprendizaje profundo y sistemas de sensores avanzados, capitalizando estos progresos para mejorar sus capacidades y funcionalidades. El Autominy es controlado usando el sistema operativo ROS (Robot Operating System) lo que lo garantiza un funcionamiento robusto y versátil en el desarrollo de sistemas robóticos autónomos. La creciente demanda de profesionales capacitados en conducción autónoma resalta la importancia de plataformas educativas. Adicionalmente, el simulador del Autominy se encuentra desarrollado en el entorno Gazebo. El uso de Gazebo permite ajustes iterativos en un entorno virtual realista, optimizando el proceso de desarrollo. Adicionalmente, este proyecto fomenta la colaboración entre los centros de investigación locales que también recibieron la donación de este dispositivo, fomentando la interacción y el intercambio de conocimientos con estos centros. Esta sinergia propicia un ambiente propicio para el avance conjunto en el dinámico ámbito de vehículos autónomos.

### Justificación y pertinencia

La rápida evolución de la tecnología de conducción autónoma demanda proyectos que estén a la vanguardia de los desarrollos más recientes. El auto a escala "Autominy" se posiciona como una plataforma para investigar e implementar las tendencias más actuales, desde algoritmos de inteligencia artificial hasta sistemas de sensores avanzados. El proyecto se centra en expandir las capacidades del vehículo a escala mediante el perfeccionamiento de rutinas específicas. La mejora del reconocimiento de señales de tráfico, la planificación de rutas, la interacción vehículo-peatón y la detección de obstáculos dinámicos contribuyen directamente a fortalecer la autonomía del vehículo en escenarios complejos y dinámicos. El uso de un modelo a escala ofrece un entorno controlado y seguro para experimentar con nuevas rutinas y tecnologías. Esto reduce los riesgos asociados con pruebas en carreteras reales y permite un desarrollo más ágil y eficiente. El proyecto no solo busca mejorar las capacidades del "Autominy" a nivel tecnológico, sino que también tiene el potencial de influir en el desarrollo de tecnologías de conducción autónoma aplicadas a la movilidad urbana, la logística y otros sectores clave. Este proyecto ofrece una oportunidad educativa, ya que permite a estudiantes de universidades tecnológicas involucrarse directamente en el diseño, desarrollo y mejora de tecnologías de vanguardia en el campo de la conducción autónoma. La colaboración interinstitucional enriquece el ambiente de investigación, facilita el intercambio de conocimientos y brinda una experiencia práctica a los futuros profesionales del área.





**Metas**

Configurar el sistema ROS en su versión noethic para garantizar la interoperabilidad de los componentes. Configurar Gazebo como plataforma de simulación para pruebas virtuales realistas. Implementar nuevas rutinas de conducción autónoma, como reconocimiento de señales y detección de obstáculos dinámicos. Seleccionar, integrar y calibrar sensores avanzados (cámaras, radares, lidars) para mejorar la percepción del entorno del Autominy. Evaluar el rendimiento del Autominy en condiciones controladas y reales, considerando aspectos como eficiencia, seguridad y adaptabilidad. Registrar y documentar todas las etapas del desarrollo, incluyendo diseño, implementación, pruebas y ajustes, asegurando un registro completo y comprensible para futuras referencias y repeticiones del proyecto. Colaborar activamente en el repositorio global de Autominy en GitHub, compartiendo código, mejoras y conocimientos con la comunidad de desarrollo de vehículos autónomos, fomentando la innovación colaborativa y el avance continuo en el campo. Se destaca la necesidad de generar documentación en español y promover contribuciones en este idioma para mejorar el acceso y la participación de la comunidad hispanohablante.

**Metodologías**

1. Investigación y revisión bibliográfica: Realizar una extensa revisión de la literatura existente en el campo de la conducción autónoma, con especial énfasis en las últimas tecnologías emergentes y las mejores prácticas actuales. Analizar los enfoques, algoritmos y técnicas más prometedoras y eficientes utilizados en sistemas de conducción autónoma de vanguardia. Identificar las fortalezas, limitaciones y áreas de mejora de los sistemas existentes para orientar el desarrollo del proyecto. 2. Configuración del entorno de desarrollo: Establecer un entorno de desarrollo robusto e integral utilizando el marco Robot Operating System (ROS) para garantizar la interoperabilidad y la modularidad del sistema. Configurar las herramientas y bibliotecas necesarias para el procesamiento de imágenes, la detección de objetos, la planificación de rutas y otros componentes clave del sistema de conducción autónoma. Integrar los sensores y actuadores del vehículo "Autominy" con el entorno de desarrollo ROS para permitir la recopilación de datos y el control del vehículo. 3. Desarrollo de nuevas rutinas de conducción autónoma: Implementar rutinas avanzadas de conducción autónoma, como reconocimiento de señales de tránsito, planificación de rutas óptimas, detección y evasión de obstáculos estáticos y dinámicos. Desarrollar algoritmos de percepción y toma de decisiones basados en técnicas de aprendizaje automático y visión por computadora. Integrar los diferentes componentes del sistema de conducción autónoma en un marco coherente y eficiente. 4. Pruebas en la plataforma de simulación Gazebo: Configurar y adaptar el entorno de simulación Gazebo para replicar escenarios virtuales realistas y desafiantes. Crear modelos 3D precisos del vehículo "Autominy" y su entorno circundante para simular situaciones de conducción diversas. Llevar a cabo pruebas exhaustivas en el entorno de simulación para evaluar el rendimiento del sistema de conducción autónoma en diferentes condiciones y escenarios. 5. Evaluación y ajuste continuo: Realizar pruebas en condiciones controladas y entornos reales para evaluar el rendimiento del vehículo "Autominy" con el sistema de conducción autónoma implementado. Recopilar datos de prueba y analizar el desempeño del sistema en términos de precisión, eficiencia, seguridad y robustez. Ajustar iterativamente los algoritmos, parámetros y componentes del sistema para optimizar su rendimiento basándose en los resultados de las pruebas. 6. Documentación y difusión de resultados: Documentar exhaustivamente todo el proceso de desarrollo, incluyendo la investigación realizada, las decisiones de diseño, los desafíos encontrados y las soluciones implementadas. Preparar informes técnicos detallados que describan el sistema de conducción autónoma desarrollado y sus características clave. Presentar los hallazgos y resultados del proyecto en conferencias y eventos académicos relevantes para compartir los conocimientos adquiridos y fomentar futuras colaboraciones.

**Resultados esperados**

Implementación de nuevas rutinas de conducción autónoma, incluyendo reconocimiento de señales, planificación de rutas y detección de obstáculos dinámicos, demostrando una mejora significativa en la capacidad y versatilidad del Autominy. Calibración de los sensores incorporados (cámaras, radares, lidars) para mejorar la percepción del entorno del Autominy, evidenciando una mayor precisión y fiabilidad en la detección y respuesta a los estímulos externos. Configuración eficiente y optimización del sistema ROS para asegurar la interoperabilidad fluida de los componentes del Autominy, facilitando el desarrollo colaborativo y la gestión eficaz de recursos. Configuración y validación de Gazebo como plataforma de simulación para pruebas virtuales realistas, asegurando una correspondencia adecuada entre los resultados de simulación y pruebas físicas. Evaluación exhaustiva del rendimiento del Autominy en condiciones controladas y reales, destacando mejoras significativas en eficiencia, seguridad y adaptabilidad, validando el impacto positivo de las implementaciones realizadas. Generación de una documentación detallada y accesible que abarque todas las etapas del desarrollo, facilitando la comprensión, replicación y expansión del proyecto no solo para la comunidad académica y de desarrollo de vehículos autónomos, sino también como una herramienta educativa para estudiantes y futuros profesionales en el área, ayudando a difundir los resultados en el idioma español. Colaboración activa en el repositorio global de Autominy en GitHub, con contribuciones significativas en código y mejoras de documentación.

**Cronograma de trabajo**

| # | Entregable(s) comprometido(s) | Fecha inicio | Fecha fin  |
|---|-------------------------------|--------------|------------|
| 1 | Otra Publicación arbitrada:   | 01/05/2024   | 15/12/2024 |
| 2 | Impartición de docencia.      | 01/03/2024   | 06/08/2024 |
| 3 | Impartición de docencia.      | 01/03/2024   | 06/08/2024 |
| 4 | Impartición de docencia.      | 01/03/2024   | 06/08/2024 |
| 5 | Impartición de docencia.      | 01/03/2024   | 06/08/2024 |
| 6 | Impartición de docencia.      | 01/03/2024   | 06/08/2024 |
| 7 | Impartición de docencia.      | 01/03/2024   | 06/08/2024 |





|           |                                    |                   |                   |
|-----------|------------------------------------|-------------------|-------------------|
| <b>8</b>  | <b>Divulgación</b>                 | <b>01/01/2024</b> | <b>15/12/2024</b> |
| <b>9</b>  | <b>Vinculación</b>                 | <b>01/01/2024</b> | <b>15/12/2024</b> |
| <b>10</b> | <b>Innovación de la invención.</b> | <b>01/01/2024</b> | <b>15/12/2024</b> |

### **Bibliografía relevante**

Boroujeni, Z., Mohammadi, M., Neumann, D., Goehring, D., & Rojas, R. (2018). Autonomous car navigation using vector fields. In 2018 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV). <https://doi.org/10.1109/ivs.2018.8500446>

Brenner, C. (2009). Global localization of vehicles using local pole patterns. In Lecture Notes in Computer Science (pp. 61-70). [https://doi.org/10.1007/978-3-642-03798-6\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-642-03798-6_7)

Cao, B., Ritter, C., Göhring, D., & Rojas, R. (2020). Accurate Localization of Autonomous Vehicles Based on Pattern Matching and Graph-Based Optimization in Urban Environments. In 2020 IEEE 23rd International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC). <https://doi.org/10.1109/itsc45102.2020.9294299>

Chalvatzaras, A., Pratikakis, I., & Amanatiadis, A. (2023). A survey on Map-Based Localization Techniques for Autonomous Vehicles. IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, 8(2), 1574-1596. <https://doi.org/10.1109/tiv.2022.3192102>

El-Ghazaly, G., Frank, R., Harvey, S. J., & Safko, S. (2023). High-Definition Maps: comprehensive survey, challenges, and future perspectives. IEEE Open Journal of Intelligent Transportation Systems, 4, 527-550. <https://doi.org/10.1109/ojits.2023.3295502>

Schlichting, A., & Brenner, C. (2014). Localization using automotive laser scanners and local pattern matching. In 2014 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV). <https://doi.org/10.1109/ivs.2014.6856460>

Schreiber, M., Knöppel, C., & Franke, U. (2013). LaneLoc: Lane marking based localization using highly accurate maps. In 2013 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV). <https://doi.org/10.1109/ivs.2013.6629509>

Steinke, N., Goehring, D., & Rojas, R. (2024). GroundGrid: LiDAR Point Cloud ground segmentation and terrain estimation. IEEE Robotics and Automation Letters, 9(1), 420-426. <https://doi.org/10.1109/lra.2023.3333233>

Steinke, N., Ritter, C., Goehring, D., & Rojas, R. (2021). Robust LiDAR feature localization for autonomous vehicles using geometric fingerprinting on open datasets. IEEE Robotics and Automation Letters, 6(2), 2761-2767. <https://doi.org/10.1109/lra.2021.3062354>

