

# **Prototipo de un sistema de navegación vehicular supervisado por una red neuronal en un entorno controlado**

## ***Trabajo Terminal No. 2021-A029***

Alumnos: \*González González Oscar Uriel, \*\*Salayandía Salinas Francisco Daniel,  
\*\*\*Estrada Bernal José Bryan

Directores:

Dr. Rubén Galicia Mejía

Dr. José Noel Rosales Pérez

e-mail: \*[codeperri27@gmail.com](mailto:codeperri27@gmail.com)

\*\*[danielsalayandia@gmail.com](mailto:danielsalayandia@gmail.com)

\*\*\*[josbryaneb@gmail.com](mailto:josbryaneb@gmail.com)

**Resumen** - Dentro de la industria de la automatización en México existe un auge en el sector de los vehículos autónomos en cuanto al desarrollo de los mismos. Con la finalidad de explorar y aprovechar otras opciones de desarrollo en el sector de la automatización, las empresas invierten en la construcción de sistemas de navegación vehicular autónomos y su adquisición de datos mediante diversos sensores, tal es el caso de la tecnología LIDAR para el reconocimiento de objetos alrededor del vehículo.

En este trabajo terminal se propone el desarrollo de un prototipo de un sistema de navegación vehicular anti colisiones, implementado una red neuronal sobre la GPU de una tarjeta de control, la cual procesa los datos adquiridos por un sensor RPLIDAR A1, éste será capaz de completar un recorrido dentro de un entorno controlado para entrega de insumos de una escala reducida entre dos puntos.

**Palabras Clave** - LIDAR, Sistemas Electrónicos, Deep Learning, Redes Neuronales, Inteligencia artificial.

## **1. Introducción**

La inteligencia artificial se ha convertido en un mercado en crecimiento, según estimaciones como el *Gartner 's Top 10 Technology Trends* que la contempla en esta lista desde el 2019 y ocupando junto a la automatización los primeros lugares en 2020. La automatización y la inteligencia artificial son términos que hoy en día se encuentran de la mano demandando cada vez más precisión en las tareas que se implementan. [1]

Particularmente la automatización vehicular es un tema muy debatido y que tiene avances cada año, tanto en la parte de manufactura como de navegación, sin embargo el desarrollo y la implementación de estas tecnologías es muy bajo y su costo es elevado en comparación con otros países. Las diferentes divisiones de empresas como Google con Waymo y Tesla con Autopilot se dedican a la creación de sistemas de navegación vehiculares autónomos[2] con la finalidad de aumentar su valor y hacer más eficiente el recorrido a los usuarios durante sus trayectos. Teniendo en cuenta lo anterior, el desarrollo de este tipo de tecnologías y su mejora en cualquier aspecto, es de gran ayuda para generar un sistema de navegación vehicular anti colisiones que sea seguro, eficiente y accesible para todo mundo.

Particularmente en México, este tipo de proyectos son vistos en pruebas a escala en ambientes controlados, dentro de universidades y centros de investigación con el uso de diferentes sensores, como lo son los ultrasónicos o Laser Imaging Detection and Ranging (LIDAR) con el apoyo de cámaras para el reconocimiento de obstáculos[4].

Para este prototipo se pretende hacer uso de un sensor RPLIDAR A1 que nos ofrece una vista bidimensional del espacio alrededor de un vehículo a escala en conjunto con una red neuronal para el análisis y aprendizaje de datos recabados por el vehículo para el entrenamiento de la misma, todo esto con el fin de generar un sistema de navegación vehicular con los elementos anteriormente mencionados.

A continuación se enlistan algunos sistemas similares que se han desarrollado:

1. [Navegación autónoma de un vehículo a escala por medio de redes neuronales profundas](#) [7]

En esta tesis se hace uso de redes neuronales que son entrenadas mediante simulaciones para posteriormente implementarlas en un vehículo a escala.

Refiere que la red neuronal funciona como se esperaba en las simulaciones dado que estas fueron lo más semejantes a la realidad. Se consideraron los cambios de luz para que en un entorno físico no existiera una diferencia notable con los datos recabados en las simulaciones.

2. [Control de velocidad y dirección de un robot de carreras autónomo](#) [8]

En esta tesis se hace uso de control PID(proporcional integral derivativo) para operar a los elementos que conforman un vehículo a escala, como lo son motores, controles de velocidad y sensores para seguir una trayectoria previamente dibujada en una superficie.

De aquí consideraremos el uso de PID para el control de nuestro vehículo a escala ya que puede otorgarnos un mejor control de los motores y de velocidad.

3. [Detección de Automóviles en un Escenario Urbano Escaneado por un LIDAR](#) [9]

En esta tesis de posgrado encontramos un primer acercamiento con el sensor LIDAR, y las aplicaciones de reconocimientos mediante nubes de puntos 3D con la finalidad de reconstruir áreas extensas como mapas o ciudades, haciendo uso de un extenso algoritmo que descarta detalles del ambiente.

De esta información consideramos el modo de operar de un sensor LIDAR y como es una forma de poder guardar los datos para poder crear una simulación controlada del ambiente en donde se encuentra el vehículo a escala.

4. [Diseño de un sistema autónomo de navegación terrestre utilizando visión por computadora](#)[10]

En esta tesis manejan la visión por computadora, ya que tiene relevancia en este sector automovilístico debido a la aportación que brinda, por ejemplo, mediante el tratamiento de imágenes se diseñan algoritmos para la detección de objetos, detección de peatones, detección de señales de tráfico, seguimiento de un carril y asistente de aparcamiento. Básicamente presentan un sistema de navegación autónomo mediante visión artificial que a través de un sensor obtienen un mapa de disparidad que les permite cuantificar la profundidad de cada punto de la imagen capturada, mediante un procesamiento interno del sensor devuelven como dato un mapa de disparidad, el cual es procesado mediante un algoritmo que le permite navegar al sistema de una región del espacio en la que se encuentra posicionado.

De esta información consideramos cómo es que obtienen los datos de dicho sensor y cómo es que hacen un análisis de puntos de la imagen, ya que nosotros trabajaremos con un sensor LIDAR que permite mayor profundidad.

5. [Navegación autónoma de un robot tipo automóvil en pista de carreras con obstáculos](#), [11]

En esta tesis plantea la implementación de un sistema de navegación autónomo en un vehículo a escala pero en colaboración con la Universidad libre de Berlín para el fomento de este tipo de tecnologías en el sector académico del país, básicamente plantean implementar la navegación autónoma en un robot móvil tipo carro escala en una pista de carreras, la intención es identificar el carril, intersecciones y obstáculos en la pista para la generación y seguimiento de una trayectoria a partir del uso e implementación de técnicas de visión por computadora, Fusión de información, Clasificación de patrones y control automático; en conjunto con el uso

de una cámara RGB, sensores como un giroscopio, acelerómetro y magnetómetro además de un sensor tipo LIDAR y una computadora tipo ODROID UX4.

A continuación se enlistan las principales características de las tesis resumidas anteriormente, haciendo énfasis en las similitudes con nuestra propuesta.

Proyecto	Uso del sensor LIDAR	Uso de Redes Neuronales	Implementación de un modelo a escala
Navegación autónoma de un vehículo a escala por medio de redes neuronales profundas (CIC)		✓	✓
Control de velocidad y dirección de un robot de carreras autónomo (ESIME Zacatenco)			✓
Detección de Automóviles en un Escenario Urbano Escaneado por un LIDAR (CICATA)	✓		✓
Diseño de un sistema autónomo de navegación terrestre utilizando visión por computadora (ESIME Zacatenco)		✓	✓
Navegación autónoma de un robot tipo automóvil en pista de carreras con obstáculos (CIC)	✓	✓	✓

**Tabla 1.** Comparación de proyectos

## 2. Objetivo

Generar un sistema de navegación vehicular autónomo que sea capaz de evitar colisiones con objetos fijos haciendo uso de la tecnología LIDAR y la herramienta de Google

Cartographer, implementado en un vehículo a escala realizando un recorrido en un entorno controlado para su posterior aplicación dentro de bodegas de distribución.

### **Objetivos específicos**

1. Acoplar y probar el sensor RPLIDAR A1 y una tarjeta de control dentro de un vehículo a escala.
2. Realizar una comparativa entre una red convolucional y una red neuronal morfológica[12] para poder establecer la que mejor se adapte a las necesidades con base en los siguientes parámetros: tiempo de respuesta, carga en la GPU y gestión de la transmisión y recepción de datos.
3. Entrenar e implementar la red neuronal en un vehículo a escala para que sea capaz de completar un recorrido dentro de un entorno controlado previamente diseñado.
4. Realizar un conjunto de pruebas de integración del sensor RPLIDAR A1 y la red neuronal y hacer uso de Google Cartographer para guardar el recorrido hecho por el vehículo autónomo.

### **3. Planteamiento**

Evitar colisiones a través de la detección de obstáculos fijos y visión artificial, la cual es una de las principales problemáticas de la navegación autónoma. Por lo cual se propone un prototipo de sistema de navegación autónoma capaz de evitar colisiones en un ambiente controlado llevando entre dos puntos insumos de escala reducida.

#### **Justificación**

Es de destacar que la industria vehicular en México se consolida como una pieza clave en el desarrollo económico del país, sin embargo, el desarrollo y creación de nuevas tecnologías es muy bajo en comparación con países de primer mundo como Alemania o EEUU, en donde se promueve la inversión en la creación de dichas tecnologías y en programas de cooperación en conjunto no sólo con el sector privado o el gubernamental sino también con distintas universidades; mientras que en México el desarrollo, en la mayoría de los casos, se limita al diseño de pruebas para los vehículos[4].

La CDMX es la capital de México y cuenta con una población de aproximadamente 20 millones de habitantes en el área metropolitana, la CDMX es el área urbana más grande de México y una de las más pobladas del mundo, con más de 28 millones de personas. La Gran Ciudad de México es uno de los centros económicos más importantes de América Latina y representa casi una cuarta parte del PIB de México. Su economía diversa está impulsada por los servicios comerciales, financieros y de TI, y los servicios representan aproximadamente el 75% de la actividad económica. [3]

Dentro de la encuesta realizada por Forbes encontraron que un gran porcentaje de la población está dispuesta a invertir en este tipo de programas que mejoran la productividad dentro de las empresas, aunque saben que ofrecen alto rendimiento y escalabilidad, están asumiendo un riesgo significativo que les puede costar algunos ingresos, estas tecnologías también continúan satisfaciendo las necesidades de los requisitos en el mercado de los almacenes modernos. [6]

Cabe mencionar que el desarrollo de sistemas de navegación autónomos está limitado, en mayor medida, a pruebas dentro de universidades y centros de investigación[4]; y dentro del Instituto Politécnico Nacional, a nivel superior, este tipo de proyectos son escasos dentro de las diferentes unidades académicas.

Con esto en mente, se desarrollará un prototipo de sistema de este tipo, haciendo uso de un sensor RPLIDAR A1 para la adquisición de datos, redes neuronales para el procesamiento y toma de decisiones con la finalidad de aportar más a este campo de estudio, donde aún se pueden mejorar diversos aspectos.

Es de destacar que dentro de los trabajos que se han hecho al respecto, tanto a nivel superior como en posgrados, la presencia de sensores RPLIDAR A1 es limitada y su implementación es poco explorada.

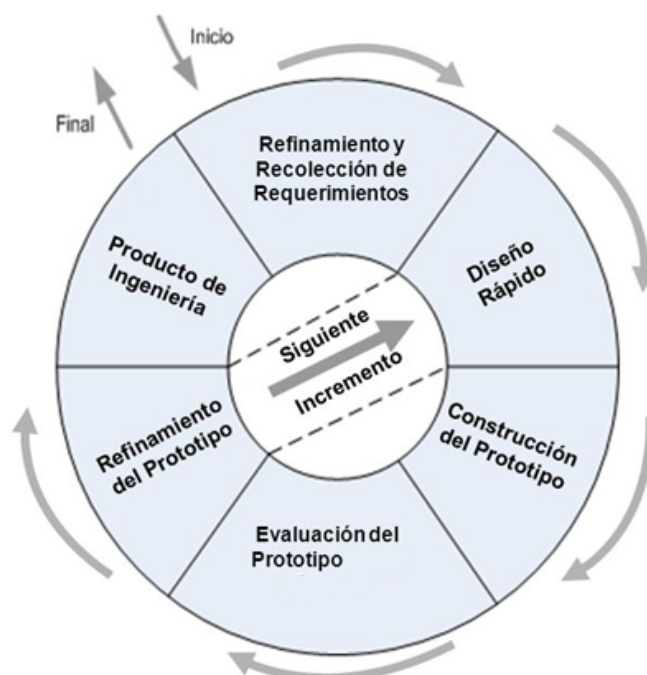
La principal vinculación que se pretende es con empresas que estén dispuestas a usar esta tecnología para la automatización de sus procesos, dado que existen algunas que ya lo implementan, como es el caso Amazon o Mercadolibre, que utilizan robots con visión artificial para ir a recoger contenedores en sus centros de distribución, para luego ser recibidos por los repartidores. En este trabajo se propone una opción viable para que algunas empresas interesadas implementen nuestro sistema de navegación y optimicen sus procesos.

#### 4. Productos o resultados esperados

- Vehículo a escala compatible con la tarjeta de desarrollo y el sensor RPLIDAR A1
- Red neuronal entrenada capaz de reconocer objetos fijos
- Mapeo del recorrido previamente adquirido del entorno controlado
- Prototipo de vehículo, el cual es capaz de integrar el sistema de navegación vehicular con el sensor RPLIDAR A1
- Prototipo de sistema de navegación capaz de completar un recorrido dentro de un entorno controlado para el transporte de insumos de tamaño reducido entre dos puntos
- Publicación en una revista de divulgación científica

#### 5. Metodología

La metodología que se llevará a cabo durante el desarrollo de este trabajo terminal, se encontrará basada en el paradigma de prototipos que se propone en la figura 1.



**Figura 1.** Modelo de prototipos incremental.

En la etapa de Evaluación del prototipo, es el cliente quien lo evalúa. Pero al no tener un cliente específico, se llevará a cabo dicha tarea con base en los datos y funcionamiento del prototipo, para avanzar al refinamiento del prototipo.

Esto se piensa así ya que al ser una red neuronal se requiere de muchas iteraciones para alcanzar un funcionamiento óptimo, además que la integración con los demás componentes del sistema (RPLIDAR A1) debe estar en sincronía con la red neuronal.

- **Refinamiento y recolección de requerimientos**

En esta etapa del proyecto se plantea la idea en repetidas ocasiones para tener claros los requerimientos del proyecto y evaluar cada uno de ellos para posteriormente darles un número de prioridad y orden, ya que hay partes del proyecto que no se pueden hacer otra no está hecha

- **Diseño rápido**

Aquí todos los requerimientos anteriormente planteados se realizan no de una manera definitiva para posteriormente pasar a la construcción del prototipo el cual esclarecerá si dichos requerimientos funcionan adecuadamente como uno solo.

Cabe mencionar que aquí es donde se vuelve una vez se haya llegado al refinamiento del prototipo. Si existen áreas donde el prototipo puede mejorar o no se llega a la conclusión de que lo hecho es ya nuestro producto de ingeniería se retoman todos los requerimientos como una base para mejorar, agregar o quitar funciones o características.

- **Construcción del prototipo**

Se construye el prototipo, de manera que al finalizar el ensamble, todos los requerimientos pasen por una prueba para verificar el correcto funcionamiento de todo el sistema.

- **Evaluación del prototipo**

De existir áreas de oportunidad dentro del prototipo, se anotarán en un listado de incidentes para tomarlos en cuenta en el refinamiento del prototipo.

Todo se deberá registrar dentro de un documento para que forme parte del reporte técnico.

- **Refinamiento del prototipo**

Tomando en cuenta los problemas que se pudieran presentar en la evaluación del prototipo, se tome una decisión respecto a si avanzar al producto de ingeniería o volver a diseño rápido tomando en cuenta la etapa de evaluación del prototipo, ya que si bien en nuestra primera iteración no habrá antecedentes, para la segunda, tercera o enésima iteración, lo más probable sea que existan incidentes.

En caso de no existir ningún tipo de problema o área de oportunidad, se deberá pasar a la última etapa, la cual será el producto de ingeniería.

Pero cabe mencionar que se avanzará si y sólo si el equipo y los directores llegan a un acuerdo mutuo de que el prototipo está completo.

- **Producto de ingeniería**

Llegar a esta etapa significa que el proyecto ha alcanzado la madurez suficiente como para ser mostrado en una presentación sin que se presente altercado alguno. En caso de que en la demostración se hayan cometido errores, se deberá volver al refinamiento del prototipo para averiguar qué está fallando y resolverlo de la mejor manera.

## 6. Referencias

- [1] Andriole, S. (2019, 14 noviembre). *Gartner's Top 10 Strategic Technology Trends For 2020: The Good, The Obvious, The Renamed & the Missing*. Forbes. <https://www.forbes.com/sites/steveandriole/2019/11/13/gartners-top-10-strategic-technology-trends-for-2020-the-good-the-obvious-the-renamed--the-missing/?sh=71d4fecbbf47>
- [2] *Autopilot*. (2020, 1 enero). Tesla México. [https://www.tesla.com/es\\_MX/autopilot](https://www.tesla.com/es_MX/autopilot)
- [3] *Mexico City, a Sprawling, Dynamic Capital in Latin America*. (2020, May 21). Prologis Mexico. <https://www.prologis.mx/en/industrial-logistics-warehouse-space/americas/mexico/mexico-city-sprawling-dynamic-capital-latin>
- [4] Barrera Franco, A. (2016). *LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ MEXICANA* (LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ MEXICANA ed., Vol. 1) [Libro electrónico]. PROMÉXICO, SE. <https://www.yumpu.com/es/document/read/56623161/la-industria-automotriz-mexicana>
- [5] *Secretaría de Economía - Automotriz*. (s. f.). Industria y comercio. Recuperado 9 de marzo de 2021, de <http://www.2006-2012.economia.gob.mx/comunidad-negocios/industria-y-comercio/informacion-sectorial/automotriz>
- [6] Banker, S. (2020, July 31). *Automation Is The Future Of Warehousing*. Forbes. <https://www.forbes.com/sites/stevebanker/2020/07/31/automation-is-the-future-of-warehousing/?sh=13d8d6a330f4>
- [7] Venegas Sánchez, T (2019). *Navegación autónoma de un vehículo a escala por medio de redes neuronales profundas* (Maestría). CIC, CIC. Recuperado de: <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/27471>
- [8] Ávila Herrera, Bernal, Mares Olivares, F, J, J (2011). *Control de velocidad y dirección de un robot de carreras autónomo* (Licenciatura). IPN, ESIME Zacatenco. Recuperado de: <https://tesis.ipn.mx/jspui/handle/123456789/10787>
- [9] Ramírez Pedraza, A (2014). *Detección de Automóviles en un Escenario Urbano Escaneado por un LIDAR* (Maestría). IPN, CICATA. Recuperado de: <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/12825>
- [10] Aparicio Osorio, Leyva González, J, C (2019). *Diseño de un sistema autónomo de navegación terrestre utilizando visión por computadora* (Licenciatura). IPN, ESIME Zacatenco. Recuperado de: <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/27652>
- [11] Bravo Conejo, C (2018). *Navegación autónoma de un robot tipo automóvil en pista de carreras con obstáculos* (Maestría). IPN, CIC. Recuperado de: <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/26294>

## 7. Alumnos y Directores

González González Oscar Uriel.- Alumno de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales en Escuela Superior de Cómputo, Especialidad en Sistemas, Boleta: 2014090273, Tel.: 5524011961, email: [codeperri27@gmail.com](mailto:codeperri27@gmail.com)

Firma: \_\_\_\_\_

Salayandía Salinas Francisco Daniel.- Alumno de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales en Escuela Superior de Cómputo, Especialidad en Sistemas, Boleta: 2015140719, Tel.: 5533199733, email: [danielsalayandia@gmail.com](mailto:danielsalayandia@gmail.com)

Firma: \_\_\_\_\_

Estrada Bernal José Bryan.- Alumno de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales en Escuela Superior de Cómputo, Especialidad en Sistemas, Boleta: 2014140213, Tel.: 5579183217, email: [josebryaneb@gmail.com](mailto:josebryaneb@gmail.com)

Firma: \_\_\_\_\_

Rosales Pérez José Noel.- Dr. En Educación 2014 , Maestría en Ciencias de la Computación (CIC) 2015, Ingeniero en Mecatronica (UPIITA) 2012, Jefe del Departamento de Apoyo, Seguimiento y Vinculación con Egresados del IPN desde 2019, Tel.: 5529829035, email: [jnrospe@gmail.com](mailto:jnrospe@gmail.com)

Firma: \_\_\_\_\_

Galicía Mejía Rubén.- Dr. Electrónica y Comunicaciones IPN 2015, Maestría en Ciencias Electrónica e instrumentación SEP-ESIME IPN 1999, Ingeniero en Electrónica Industrial, Profesor Investigador de tiempo completo del Departamento de Sistemas de Computación IPN. Áreas de interés: Procesamiento digital de señales, Instrumentación Electrónica, Espectroscopía óptica, Robótica, Diseño de circuitos digitales. Tel 57296000 Ext:52071, email: [rgaliciam@ipn.mx](mailto:rgaliciam@ipn.mx)

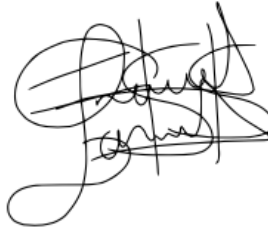
Firma: \_\_\_\_\_

## 9. Cronograma



Título del TT:

[illegible]



---

**Francisco Daniel Salayandía Salinas**



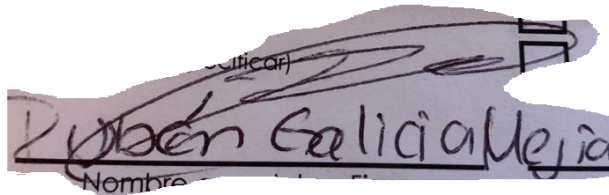
---

**Oscar Uriel González González**



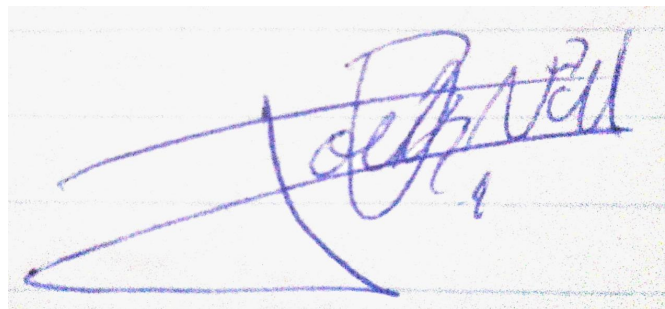
---

**José Bryan Estrada Bernal**



---

**Dr. Rubén Galicia Mejía**



---

**Dr. José Noel rosales Pérez**

CARÁCTER: Confidencial  
FUNDAMENTO LEGAL: Artículo 11 Fracc. V y Artículos  
108, 113 y 117 de la Ley Federal de Transparencia y Acceso  
a la Información Pública.  
PARTES CONFIDENCIALES: Número de boleta y teléfono.