



Universidad Católica “Nuestra Señora de la Asunción”  
Campus Alto Paraná  
Facultad de Ciencias y Tecnología  
Ingeniería Electromecánica con Orientación Electrónica



# Detección de carriles para la navegación de un vehículo autónomo utilizando visión computacional

Proyecto Final de Grado

Jesús María Franco Santacruz  
[jesus.franco@uc.edu.py](mailto:jesus.franco@uc.edu.py)

Tutor: Ing. Walter Ramón Benítez Dávalos  
Cotutor: Lic. Gregorio Ariel Guerrero Moral

Hernandarias, agosto de 2020

# Contenido

Introducción

Objetivos

Marco teórico

Pruebas y resultados

Trabajos futuros

Planteamiento del problema

Metodología

Desarrollo del trabajo

Conclusiones

Preguntas



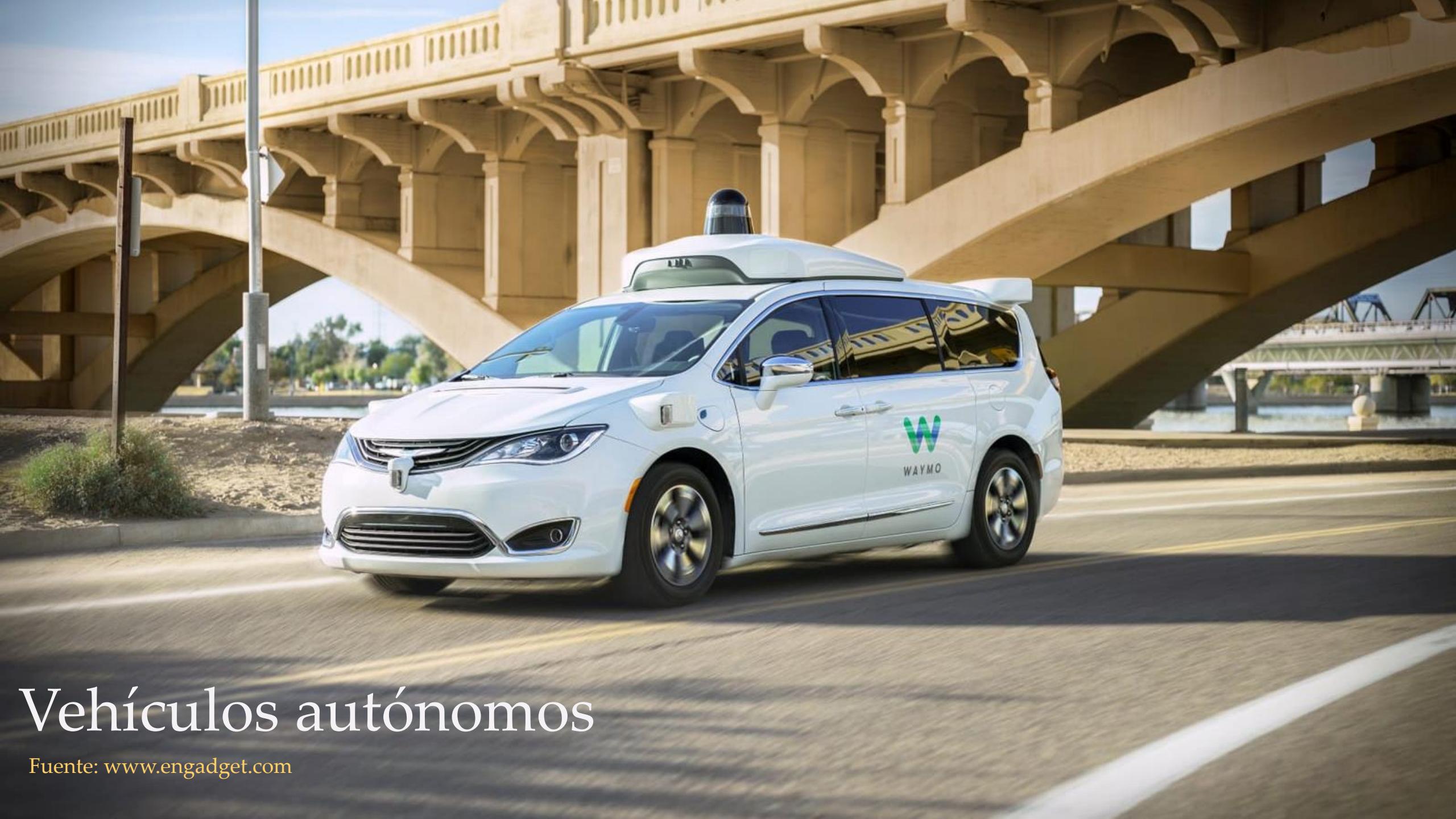
Suceden entre 20 a 50 millones de  
lesiones a causa de accidentes  
automovilísticos en el mundo

Fuente: Organización Mundial de la Salud



En Paraguay hubo 15.038 lesionados a  
causa de accidentes automovilísticos  
en el año 2018

Fuente: Agencia Nacional de Tránsito y Seguridad Vial;  
Dirección Nacional de Patrulla Caminera, Paraguay



# Vehículos autónomos

Fuente: [www.engadget.com](http://www.engadget.com)



# Sistemas avanzados de asistencia en la conducción (ADAS)

Fuente: [www.ericsson.com](http://www.ericsson.com)

# Contenido

Introducción

Objetivos

Marco teórico

Pruebas y resultados

Trabajos futuros

Planteamiento del problema

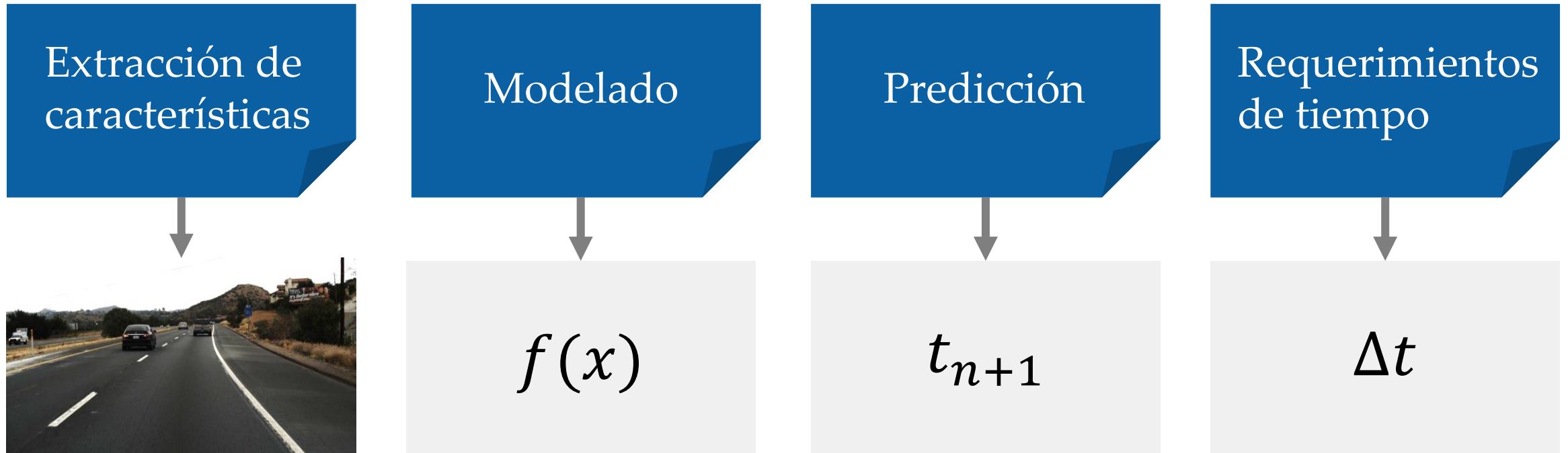
Metodología

Desarrollo del trabajo

Conclusiones

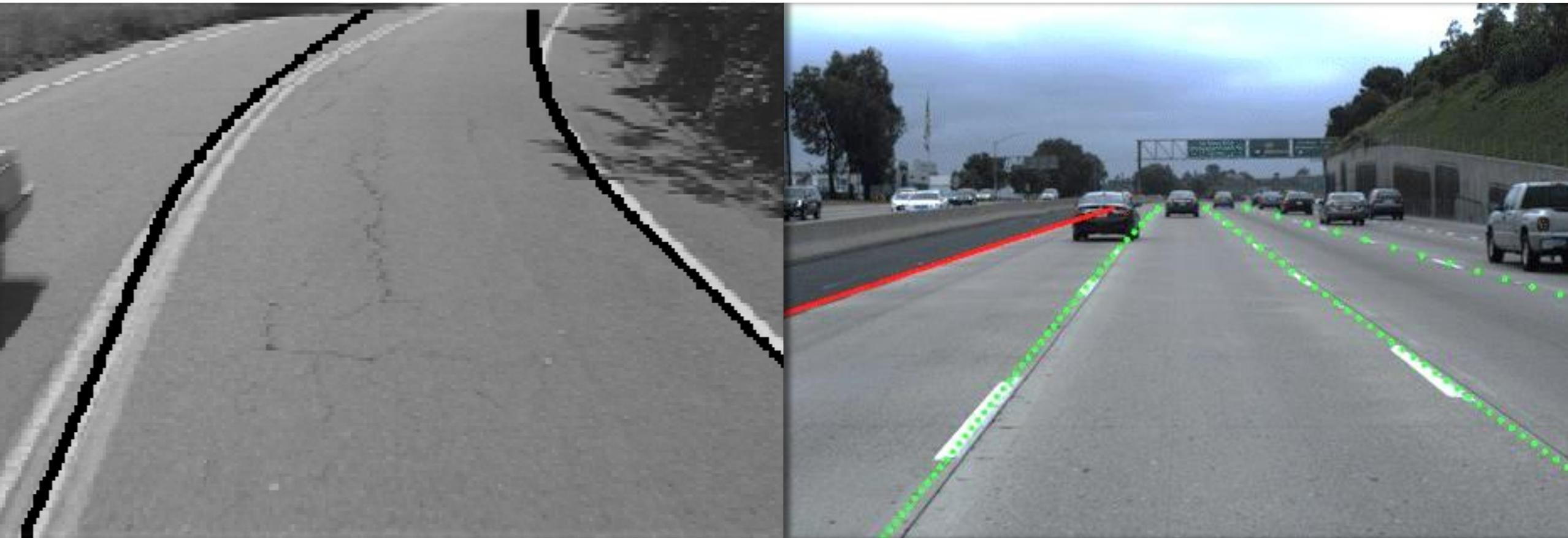
Preguntas

# Planteamiento del problema





## Planteamiento del problema



Fuente: Lim; Seng; Ang & Chin (2009)

Fuente: De Brabandere; Van Gansbeke; Neven; Proesmans & Van Gool (2019)

# Contenido

Introducción

Objetivos

Marco teórico

Pruebas y resultados

Trabajos futuros

Planteamiento del problema

Metodología

Desarrollo del trabajo

Conclusiones

Preguntas

# Objetivo general

Detectar carriles para la navegación de un vehículo autónomo utilizando visión computacional.

## Objetivos específicos

- Estudiar los algoritmos de visión computacional para la detección de carriles mediante una revisión bibliográfica del estado del arte.
- Implementar y evaluar un algoritmo de visión computacional para la detección de carriles.
- Implementar un algoritmo de visión computacional para la detección de carriles en el ambiente de un vehículo autónomo por intermedio de un simulador.

# Contenido

Introducción

Objetivos

Marco teórico

Pruebas y resultados

Trabajos futuros

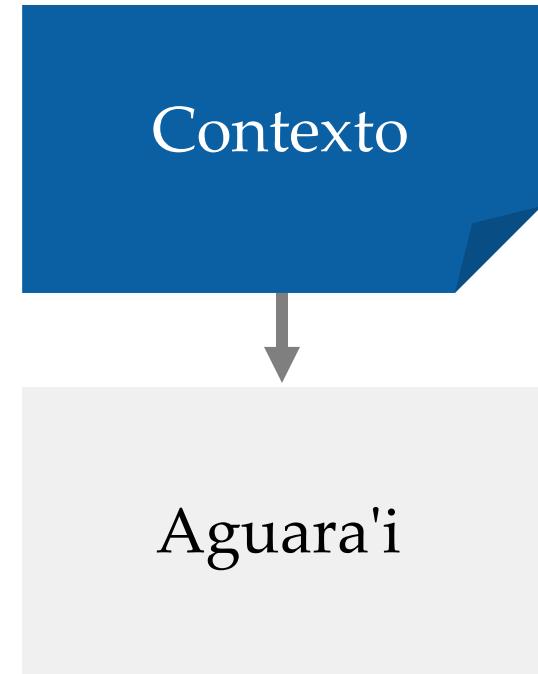
Planteamiento del problema

Metodología

Desarrollo del trabajo

Conclusiones

Preguntas



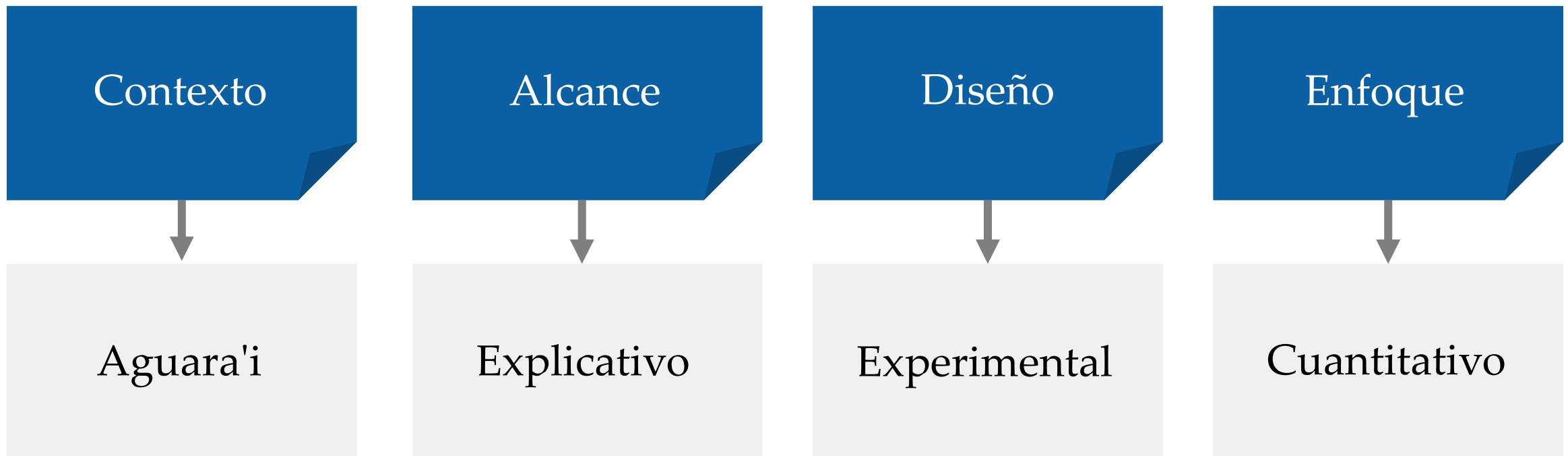


Robocar Race 2018



Winter Challenge Concórdia 2019

# Metodología



# Contenido

Introducción

Objetivos

Marco teórico

Pruebas y resultados

Trabajos futuros

Planteamiento del problema

Metodología

Desarrollo del trabajo

Conclusiones

Preguntas

Marco teórico

# Imagen

Marco teórico

# Imagen



Marco teórico

# Discretización



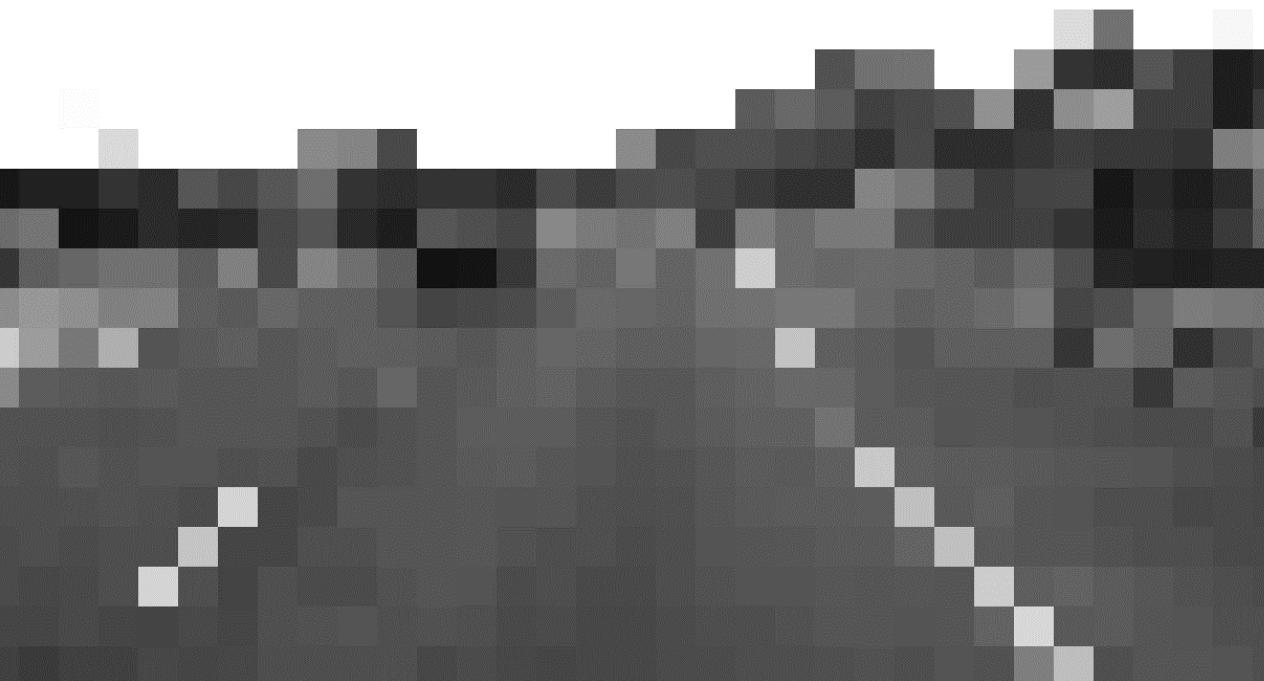
Marco teórico

# Discretización



Marco teórico

# Cuantización



Marco teórico

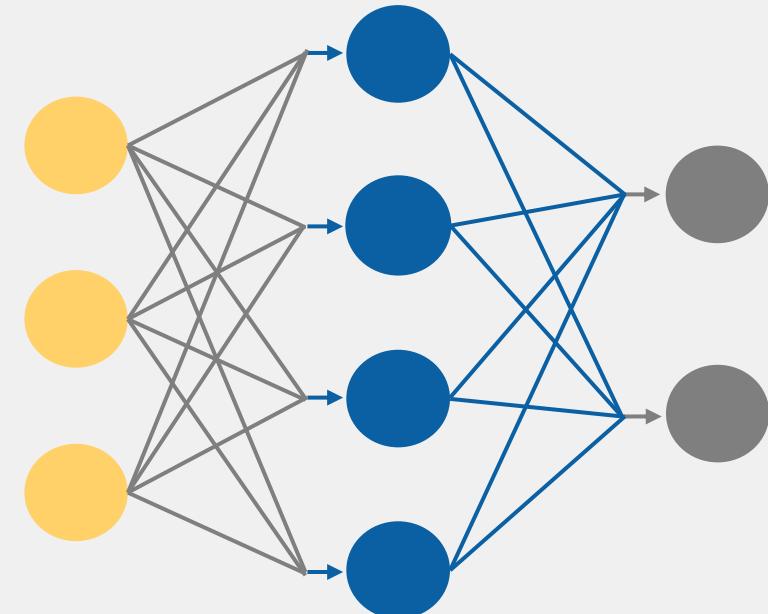
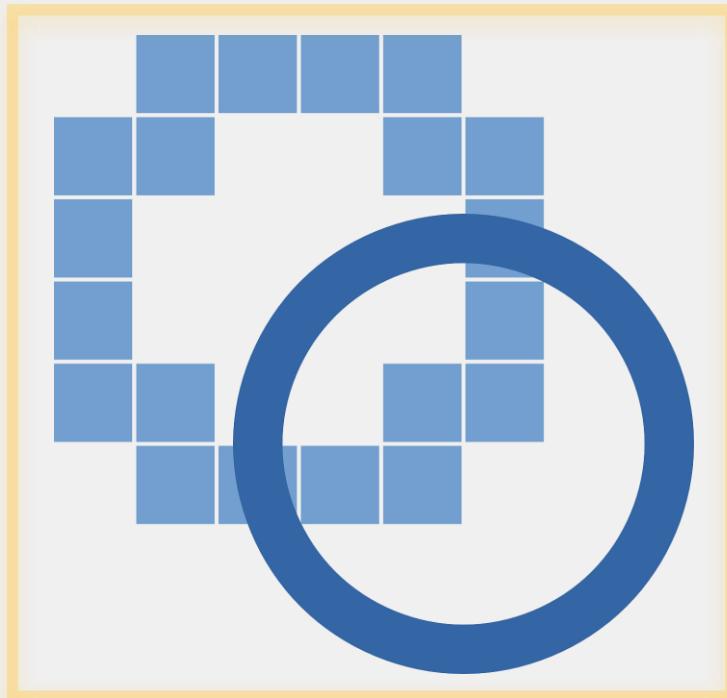
# Algoritmos de detección de carriles

# Algoritmos de detección de carriles

Preprocessing	Lane detection	Tracking	Sensors
IPM	Lane marking clustering	Particle filter	LiDAR and CCD camera
IPM, steerable filters, adaptive template	Statistical and motion based outlier removal	Kalman filter	Cameras, laser range finder GPS
Temporal blur, IPM, adaptive threshold	RANSAC	Kalman filter	Camera
Edge detection	Hough transform	None	Camera
Road Detection, centerline estimation	RANSAC	Route network description	LiDAR and cameras

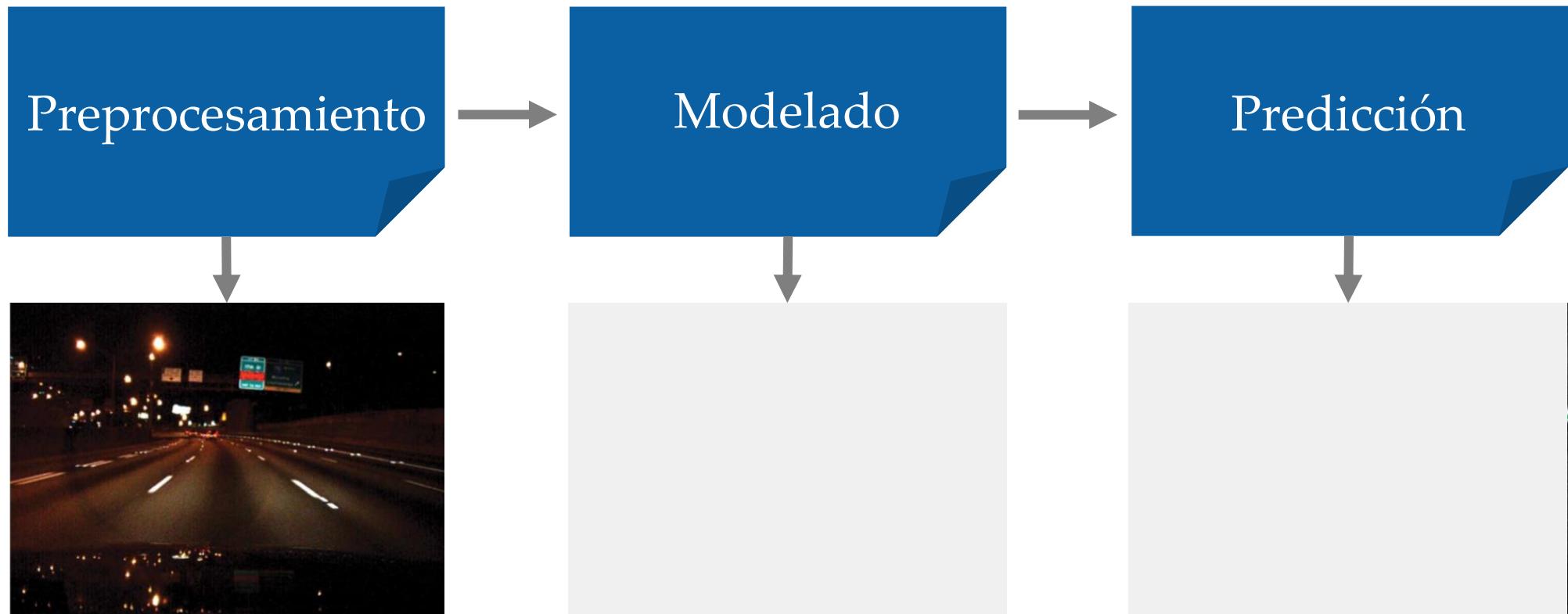
Preprocessing	Lane detection	Tracking	Sensors
IPM, Gaussian kernel filter	Hough transform, RANSAC	None	Camera
Layered ROI, steerable filter	Hough transform	Kalman filter	Radar and camera fusion
IPM, steerable filter	RANSAC	None	Camera
ROI, IPM	CNN, RNN	None	Surrounding cameras
ROI, artificial image generation	CNN	None	Two lateral cameras facing down the road

# Algoritmos de detección de carriles

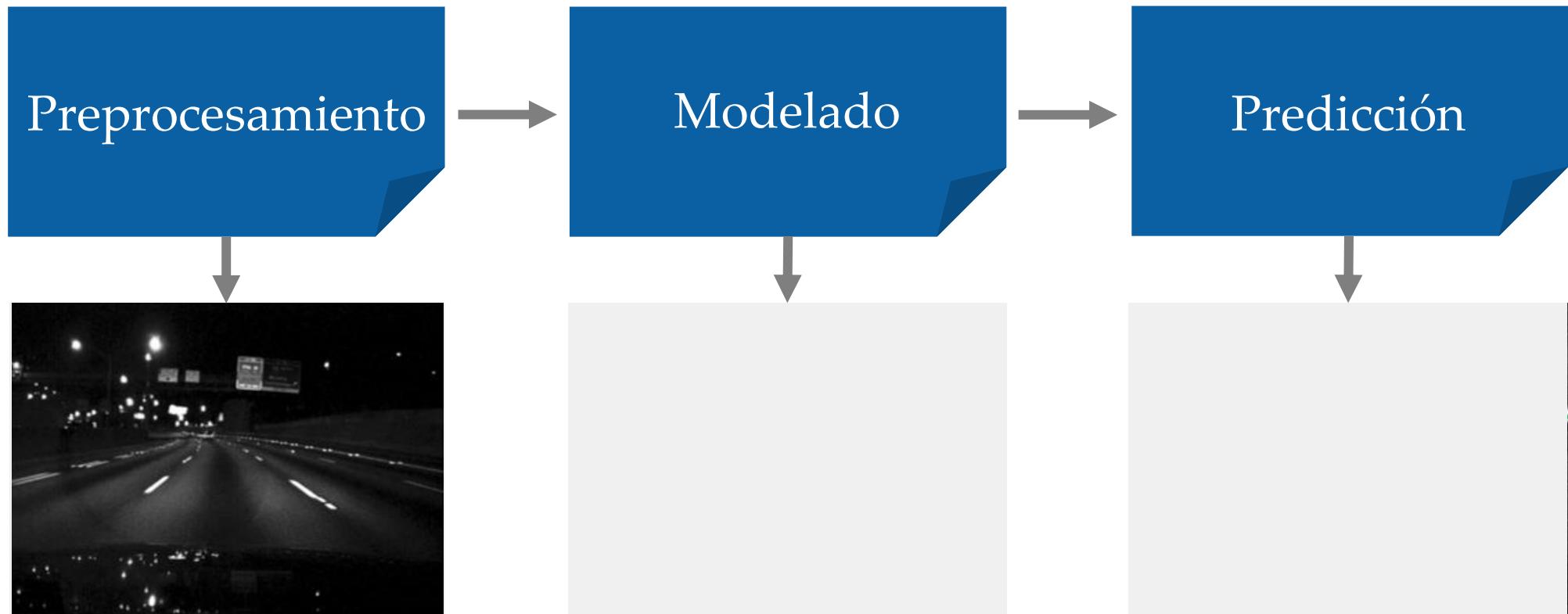


Fuente: Xing et al. (2018)

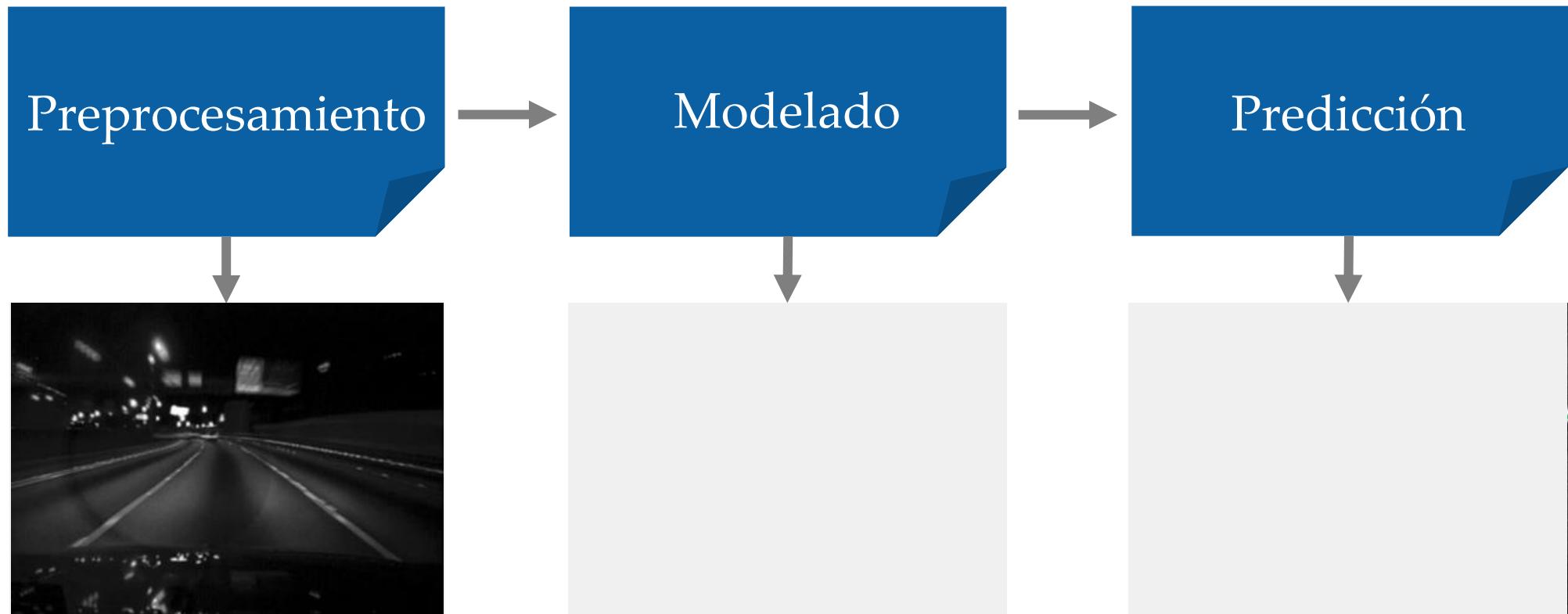
# Basados en procesamiento de imágenes



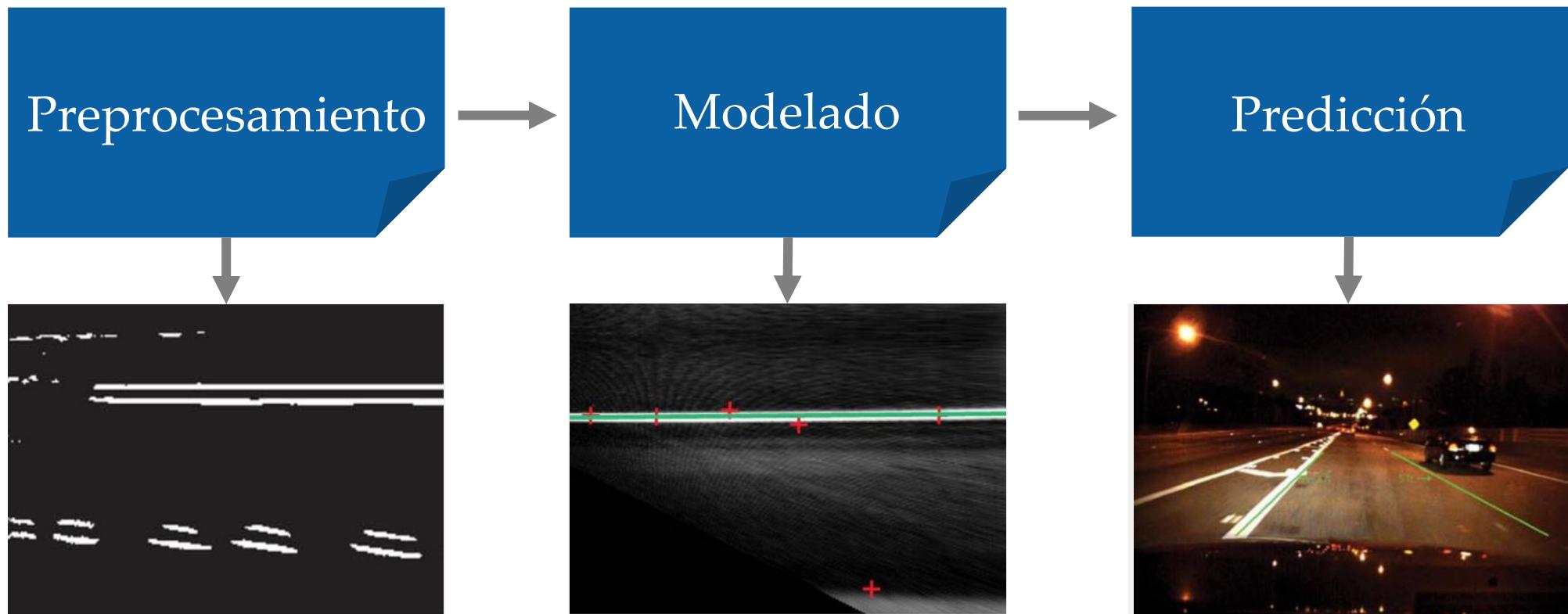
# Basados en procesamiento de imágenes



# Basados en procesamiento de imágenes

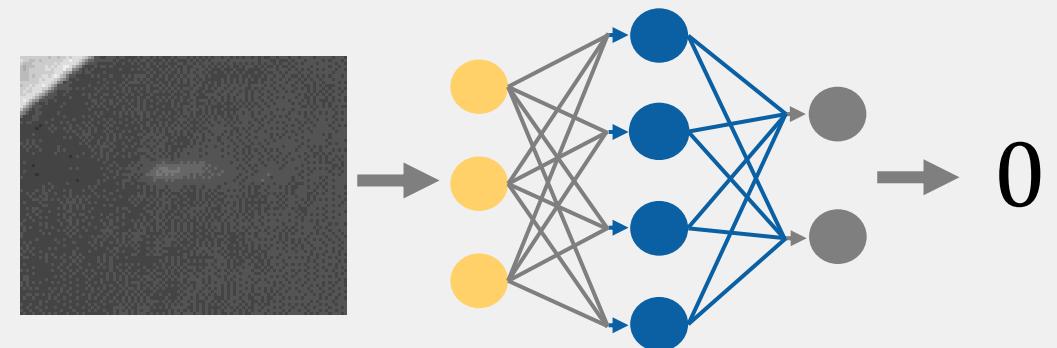
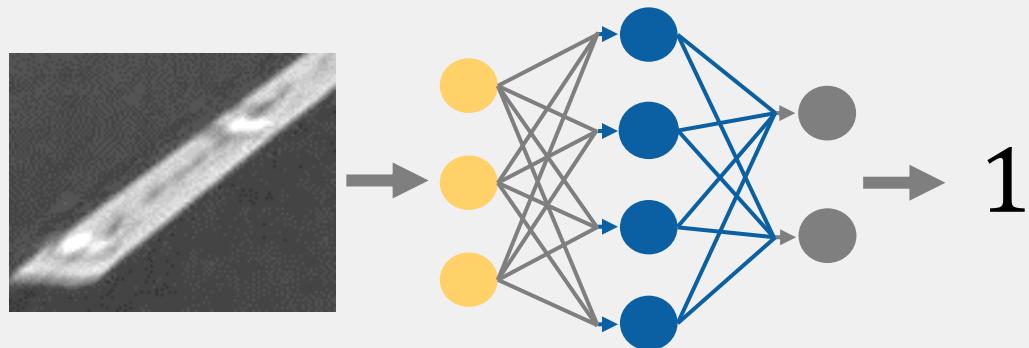


# Basados en procesamiento de imágenes



Fuente: Borkar; Hayes & Smith (2012)

# Basados en aprendizaje automático



# Contenido

Introducción

Objetivos

Marco teórico

Pruebas y resultados

Trabajos futuros

Planteamiento del problema

Metodología

Desarrollo del trabajo

Conclusiones

Preguntas

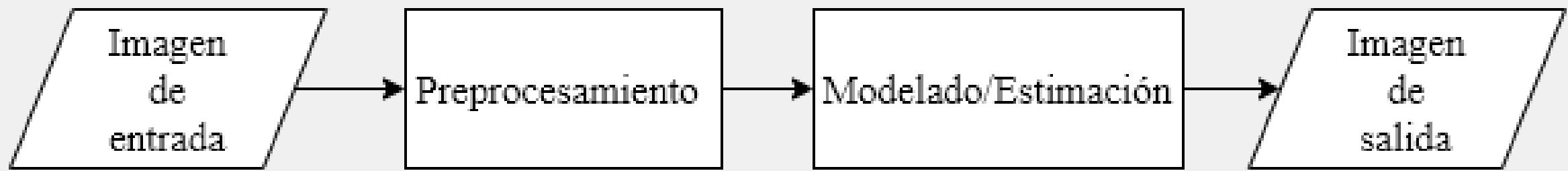
Desarrollo del trabajo

# Algoritmos propuestos

Algoritmo  
implementado

Algoritmo  
diseñado

# Etapas de los algoritmos propuestos



## Algoritmo implementado

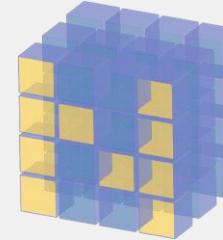
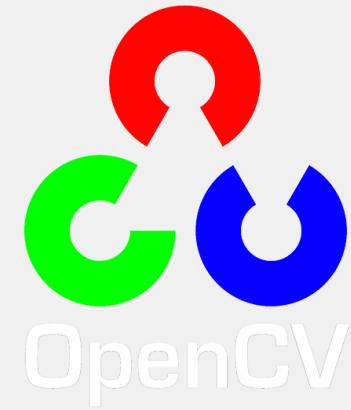
- Basado en la transformada probabilística progresiva de Hough (PPHT, por sus siglas en inglés)
- Desegur (2018)

## Algoritmo diseñado

- Basado en Otsu, PPHT RANSAC y (*R*andom *S*ample *C*onsensus)

Desarrollo del trabajo

## Software utilizado



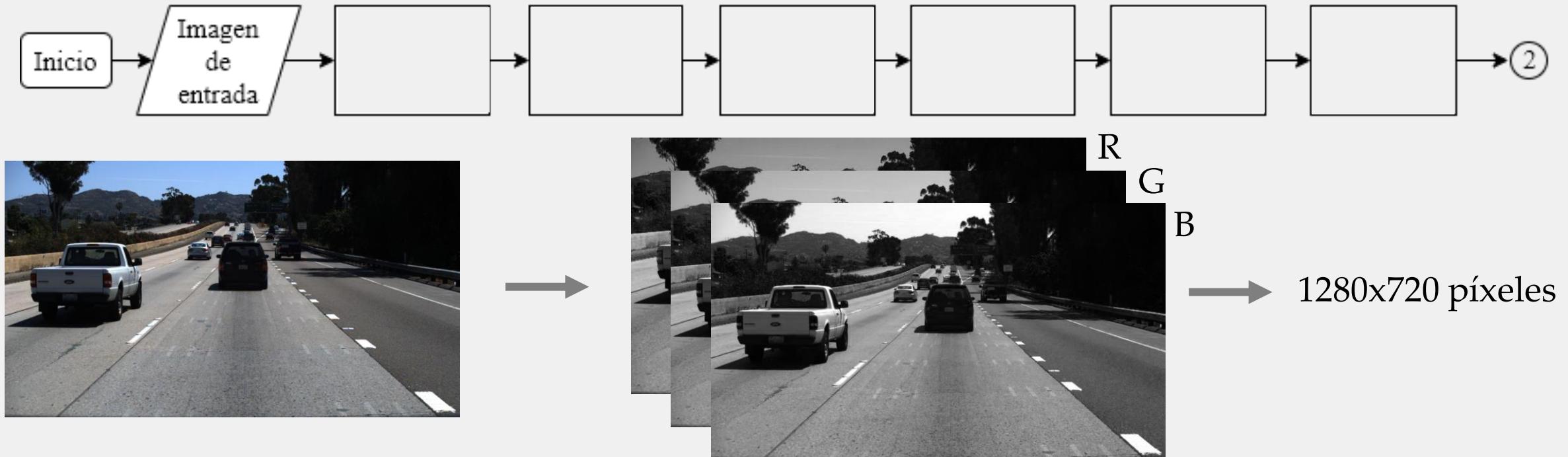
NumPy



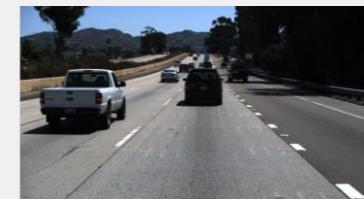
# Preprocesamiento



# Preprocesamiento

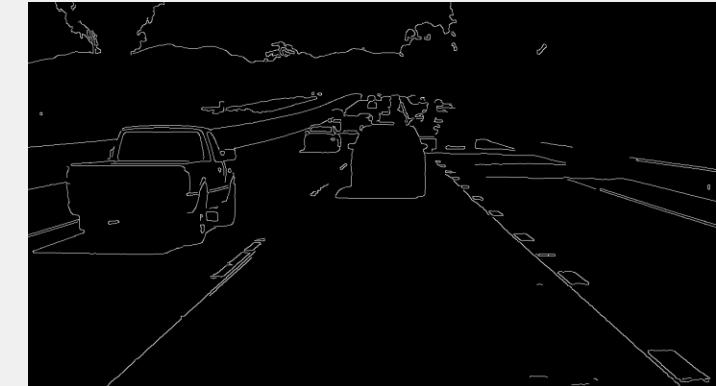
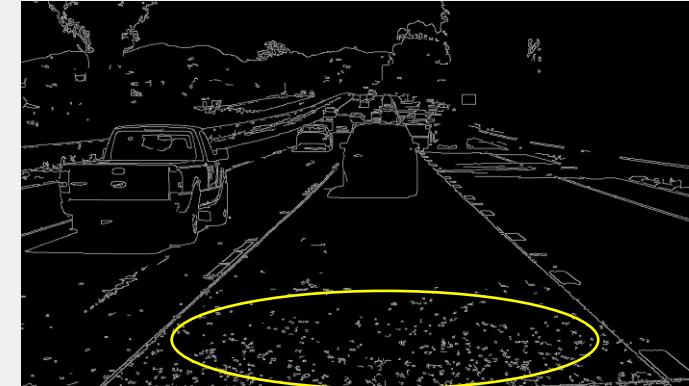
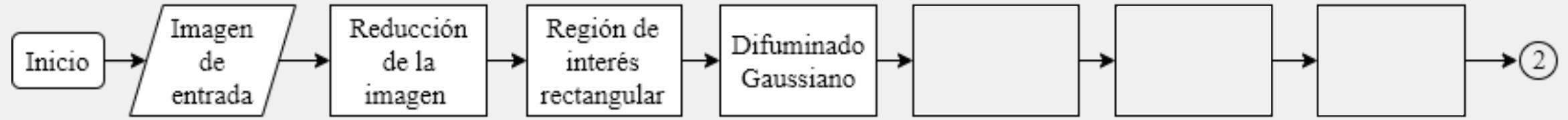


# Preprocesamiento

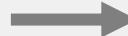
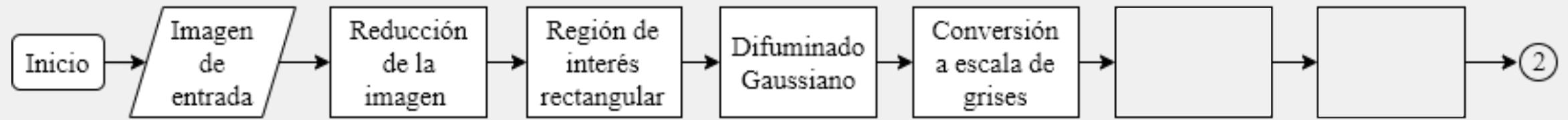


## Desarrollo del trabajo

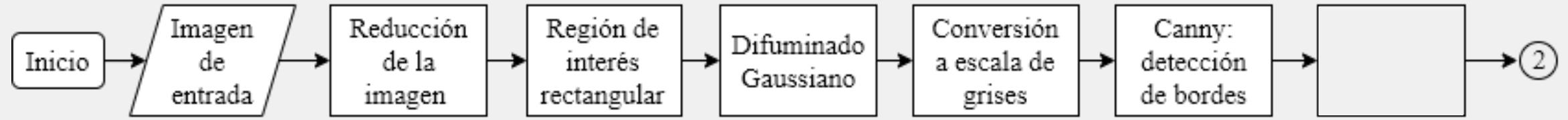
# Preprocesamiento



# Preprocesamiento



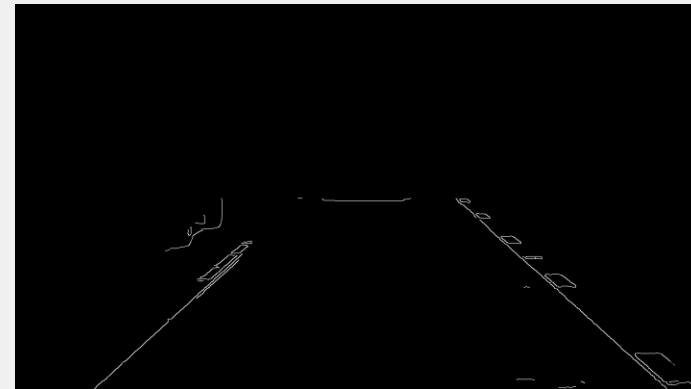
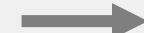
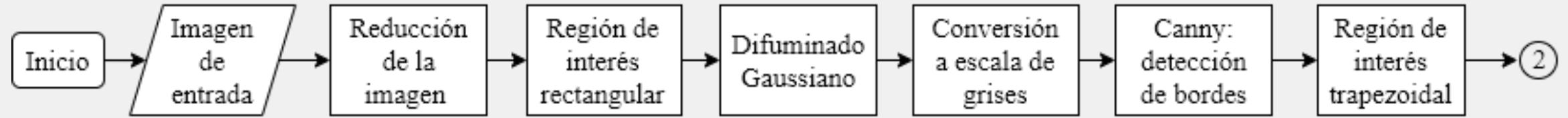
# Preprocesamiento



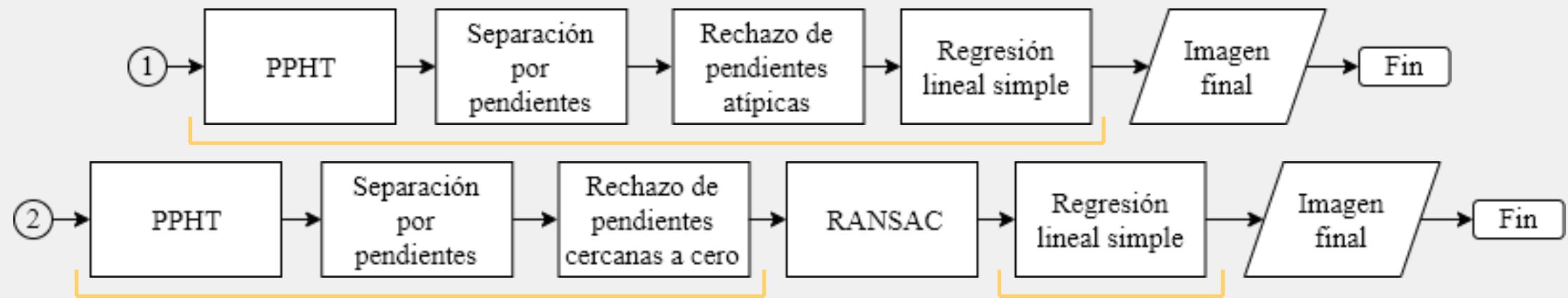
Mediana

Método de Otsu

# Preprocesamiento

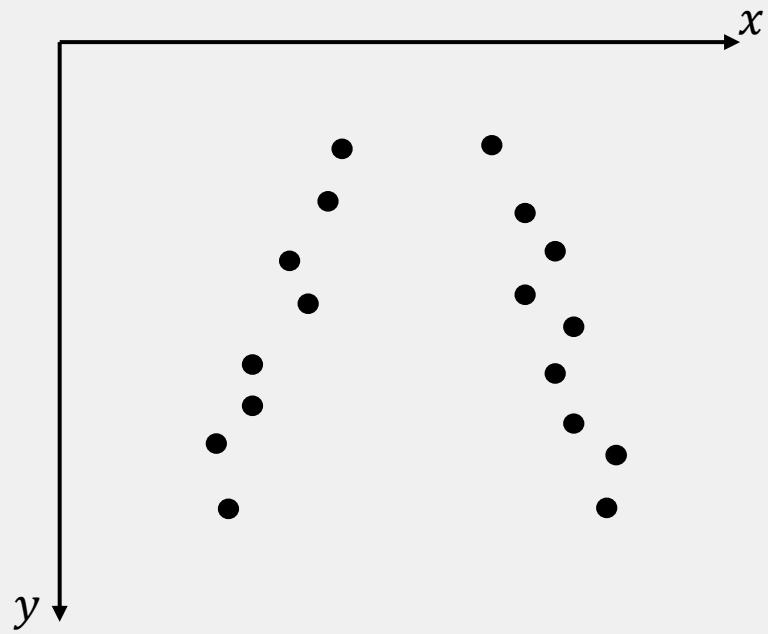
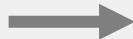


# Modelado



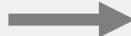
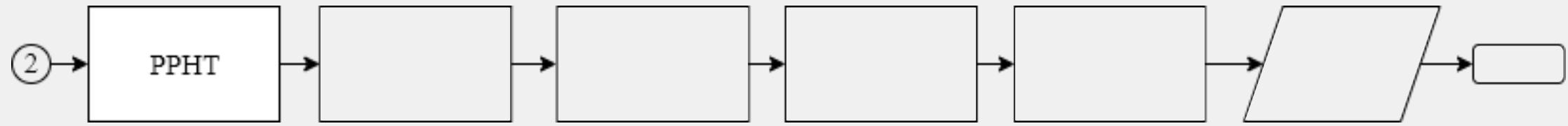
Desarrollo del trabajo

# Modelado



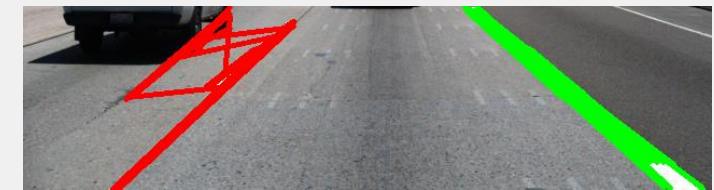
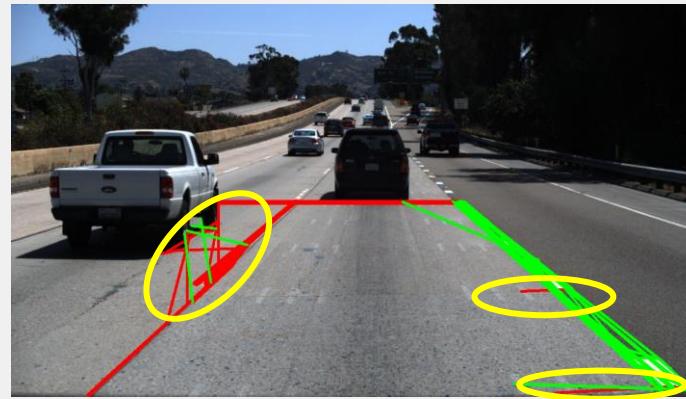
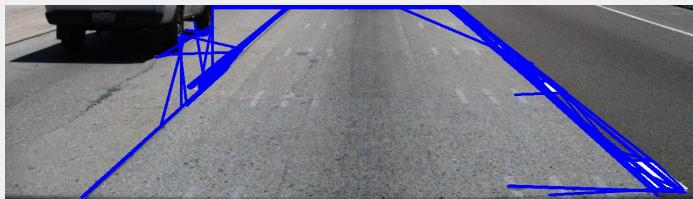
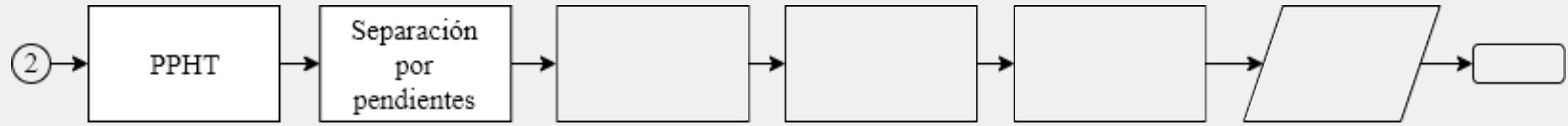
Desarrollo del trabajo

# Modelado

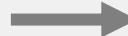
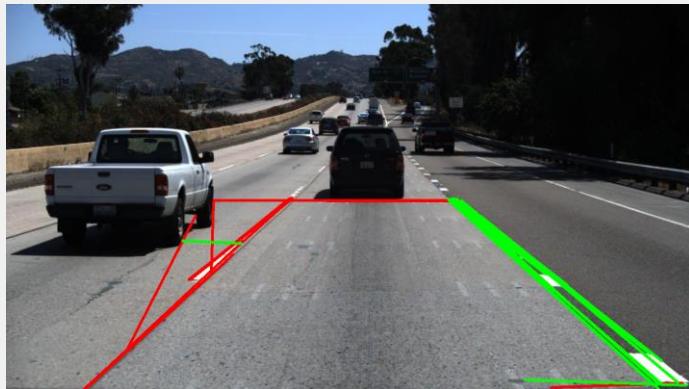
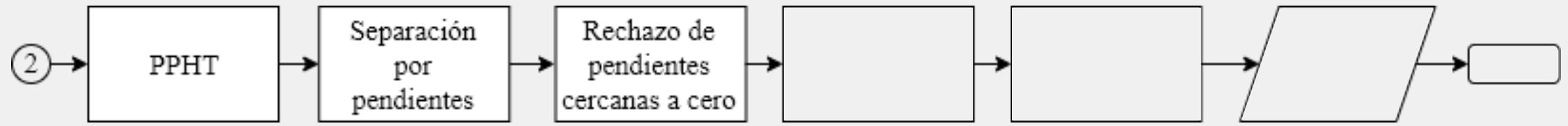


Desarrollo del trabajo

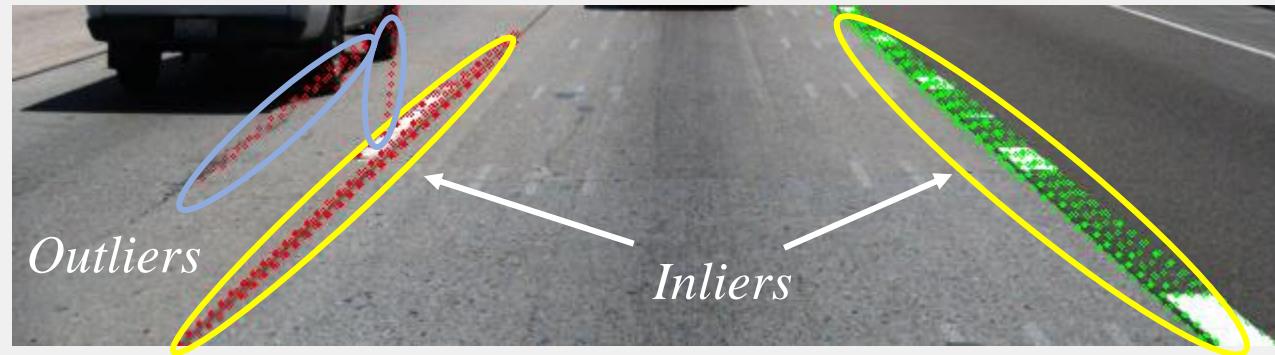
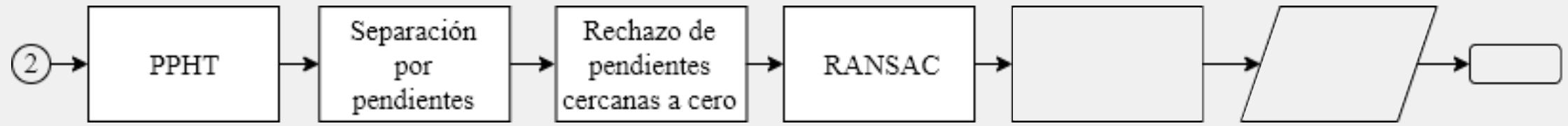
# Modelado



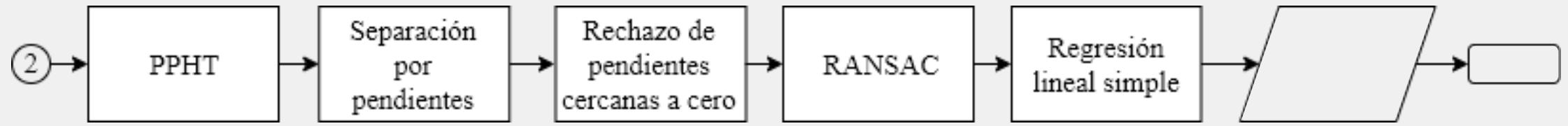
# Modelado



# Modelado

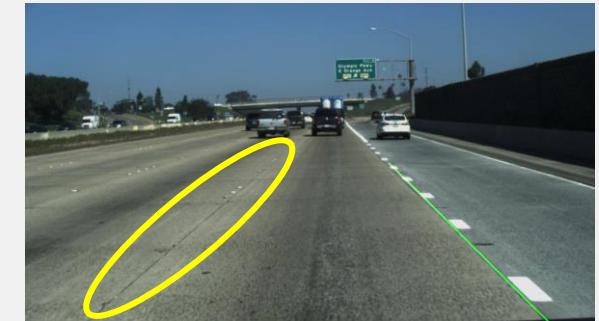
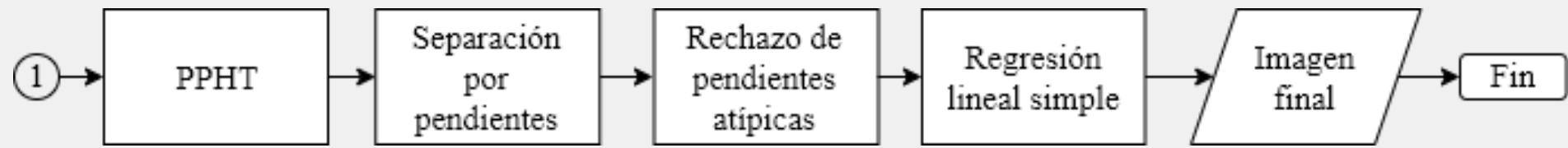


# Modelado

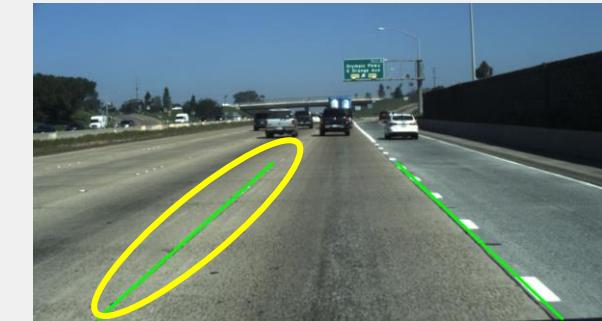
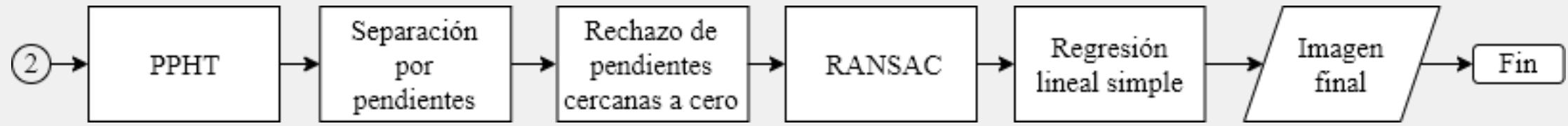


Desarrollo del trabajo

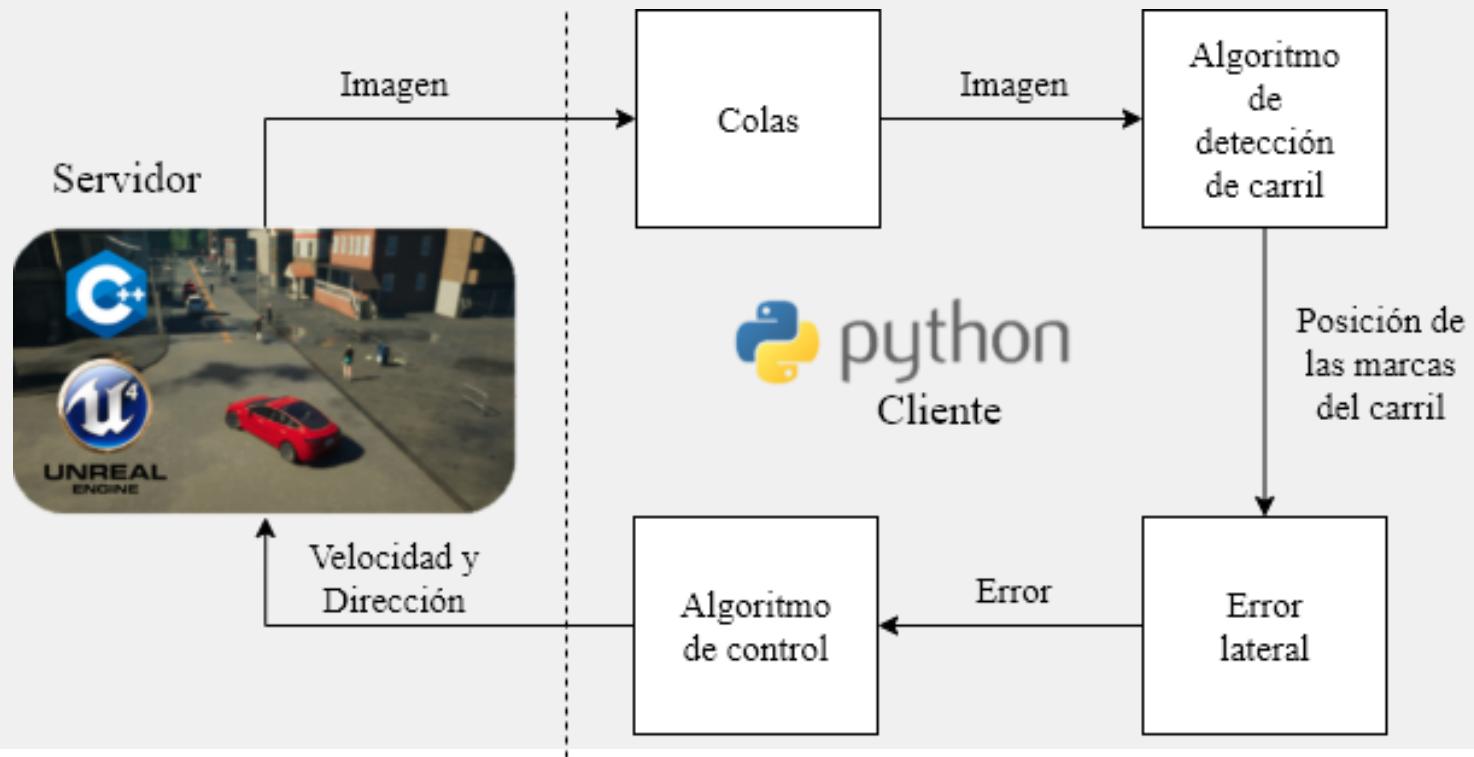
# Resultado final



# Resultado final

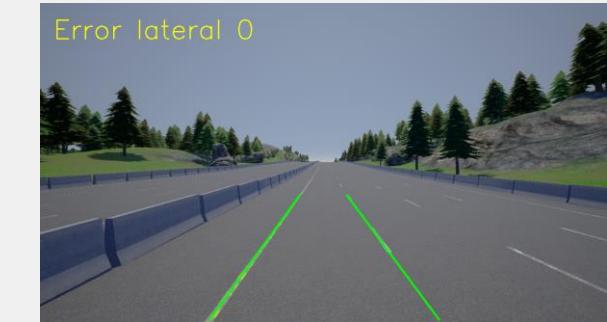
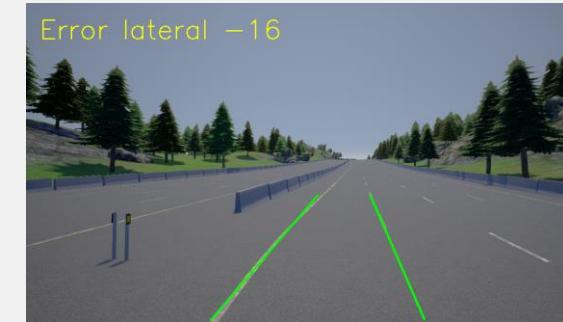
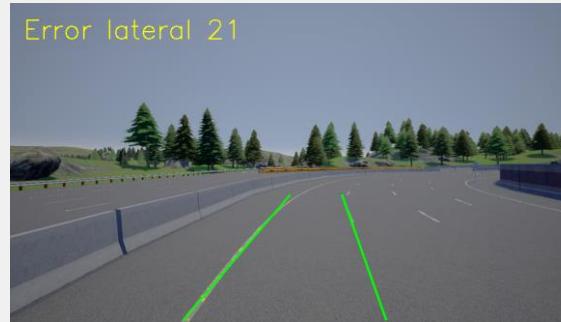
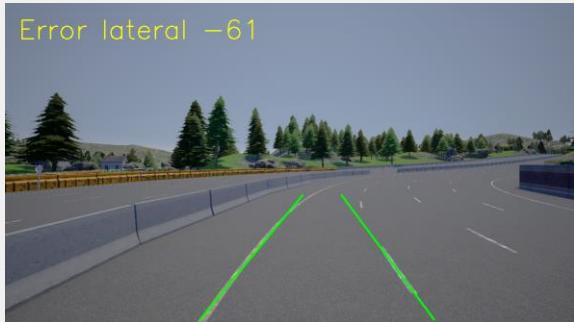


# Simulación CARLA



Desarrollo del trabajo

# Simulación CARLA



# Contenido

Introducción

Objetivos

Marco teórico

Pruebas y resultados

Trabajos futuros

Planteamiento del problema

Metodología

Desarrollo del trabajo

Conclusiones

Preguntas

Pruebas y resultados

# Evaluaciones

Dataset  
TuSimple

Dataset  
Hernandarias

Resultados  
CARLA

## Métricas utilizadas

Dataset  
TuSimple

Dataset  
Hernandarias

Resultados  
CARLA



- Exactitud (*Accuracy*)
- Razón de falsos positivos (FPR)
- Razón de falsos negativos (FNR)
- Tiempo de ejecución



- Error cuadrático medio (RMSE)
- Error absoluto medio (MAE)
- Valor pico

Pruebas y resultados

## Métricas utilizadas



Pruebas y resultados

# Dataset TuSimple

3626 imágenes anotadas  
*(Ground Truth)*



Ground Truth  
Prediction

Accuracy: 0.9857142857142858

FPR: 0.0

FNR: 0.0



# Dataset TuSimple

Algoritmos	Accuracy	FPR	FNR	Tiempo de ejecución
PPHT y Regresión lineal simple	74,30%	6,79%	23,92%	9,26 ms
PPHT, RANSAC y Regresión lineal simple	84,82%	10,95%	13,48%	10,14 ms

↑ 10,52% ↑ 4,16% ↓ 10,44%

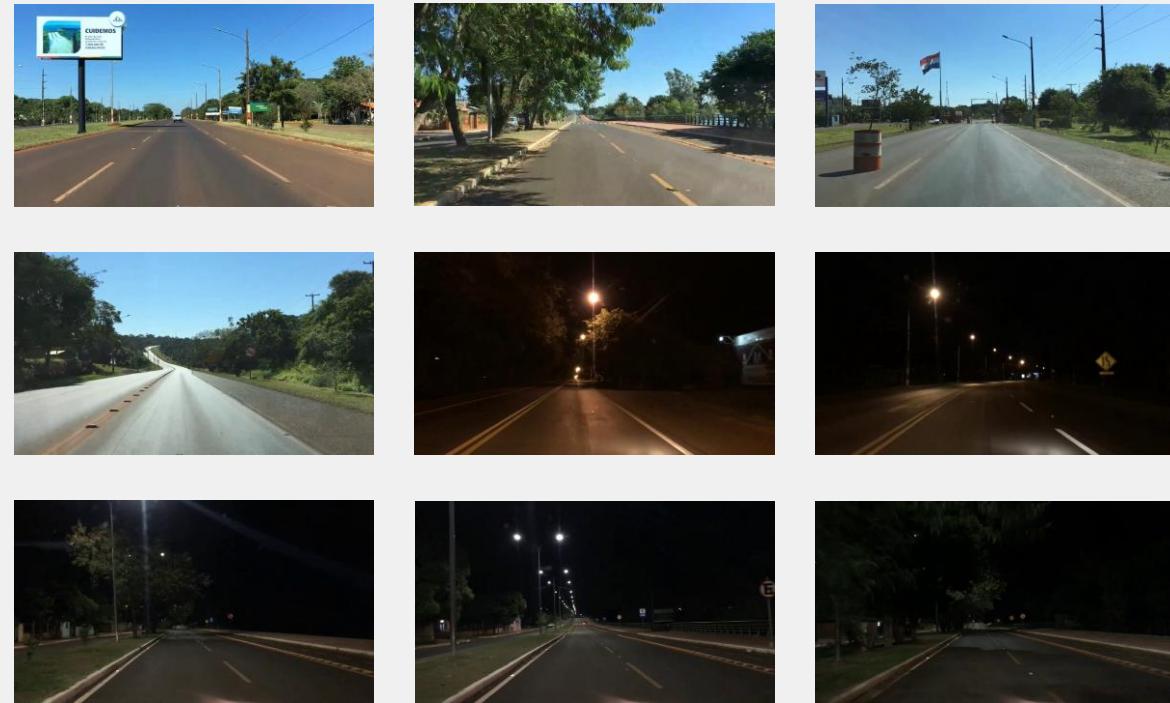
Pruebas y resultados

# Dataset Hernandarias

156 imágenes anotadas  
(*Ground Truth*)

lb

Labelbox



**Ground Truth**

**Prediction**

Accuracy: 0.8

FPR: 0.0

FNR: 0.0

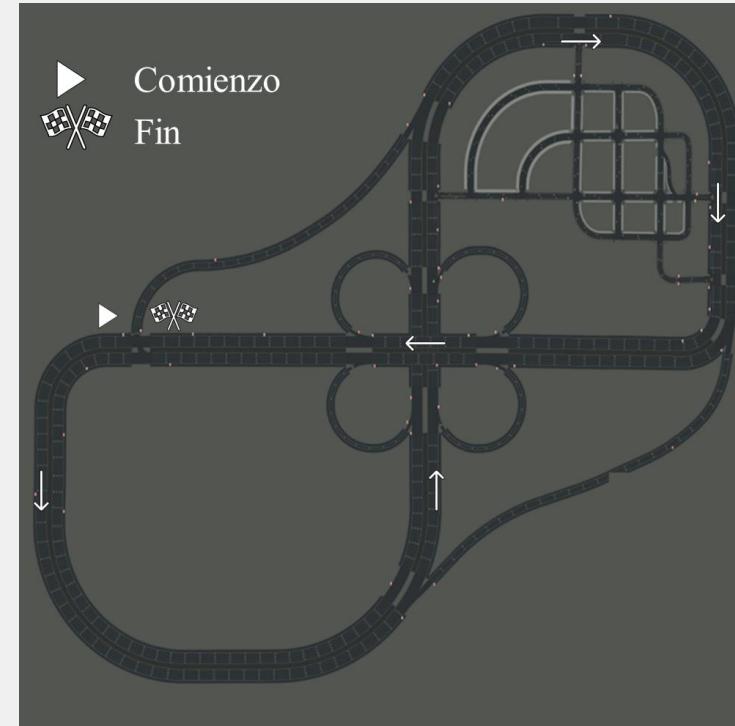


# Dataset Hernandarias

Algoritmos	Accuracy	FPR	FNR	Tiempo de ejecución
PPHT y Regresión lineal simple	42,60%	35,78%	63,81%	17,97 ms
PPHT, RANSAC y Regresión lineal simple	87,13%	8,89%	14,13%	11,10 ms

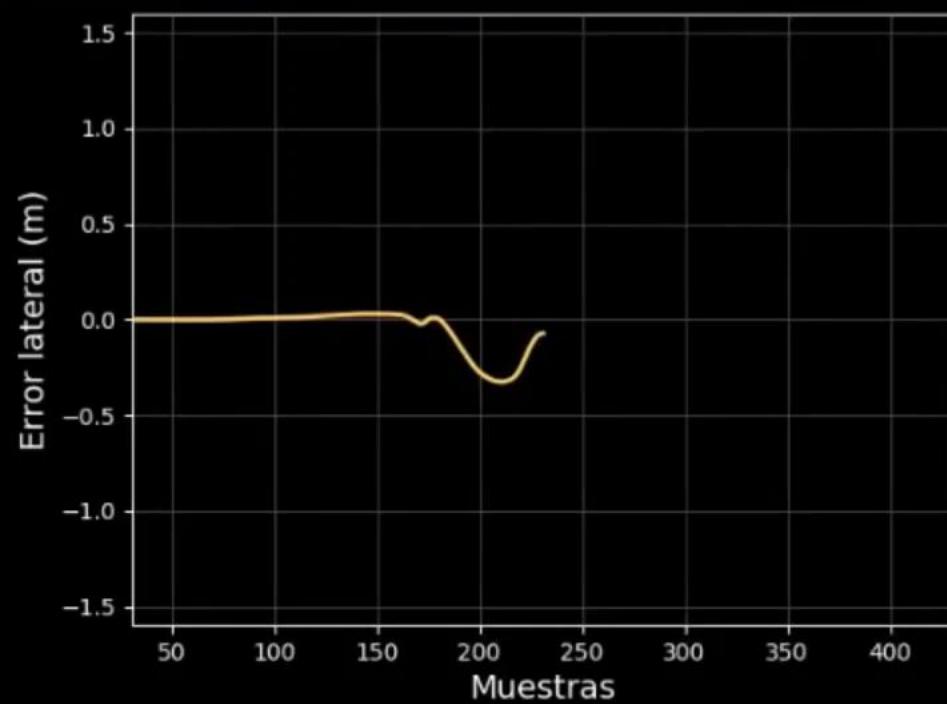
↑ 44,53% ↓ 26,89% ↓ 49,68%

# Resultados CARLA

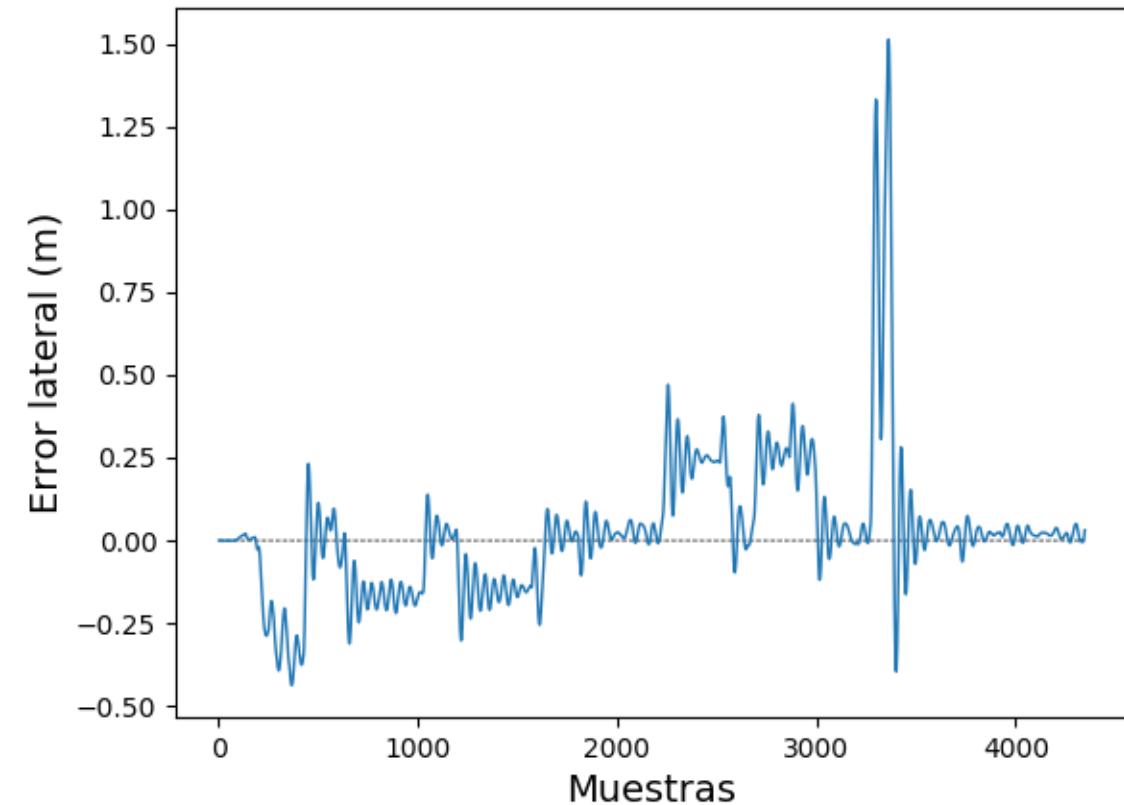
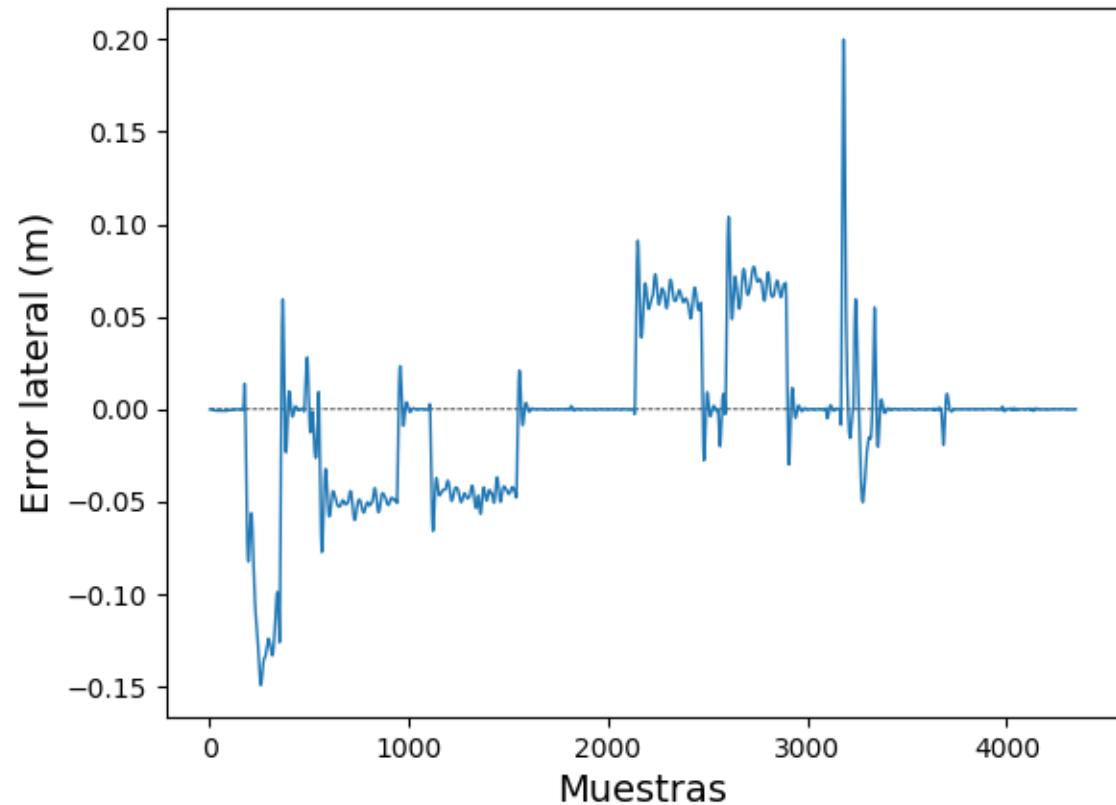


Error lateral (pixeles): 12

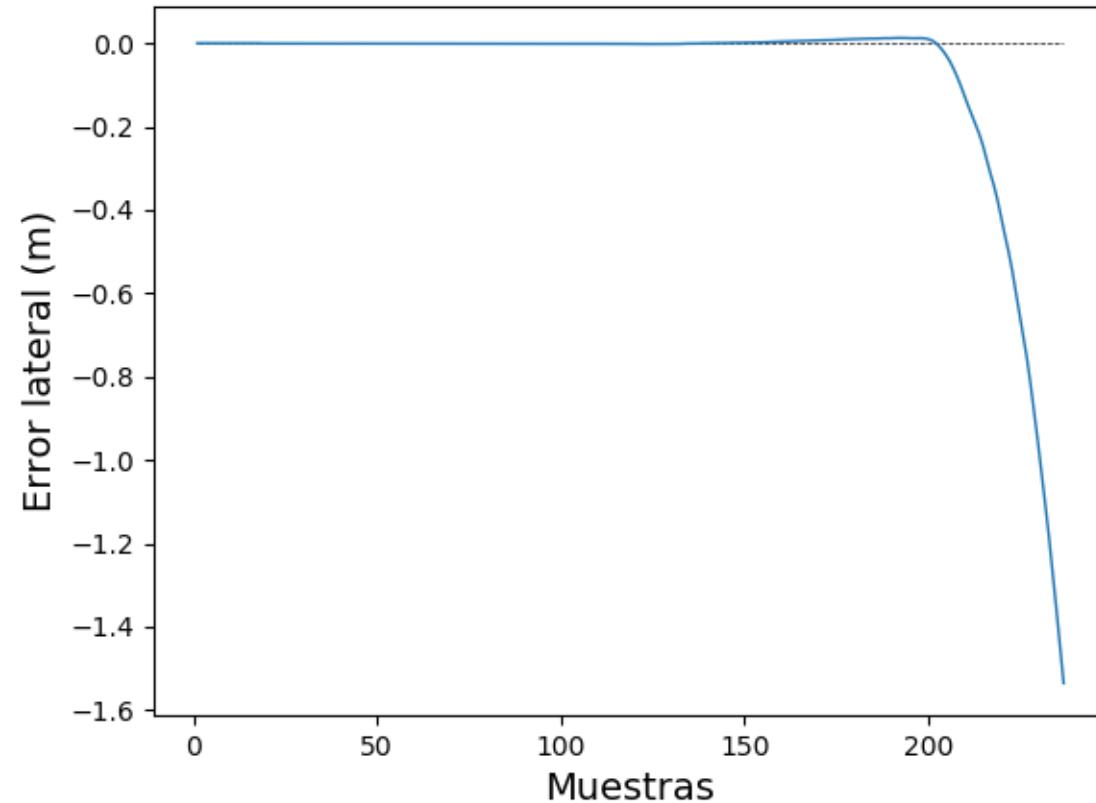
Velocidad: 56km/h



# Resultados CARLA



# Resultados CARLA



# Resultados CARLA

Control	RMSE (m)	MAE (m)	Valor pico (m)
Servidor	0,041649898	0,025734149	0,199826431
PPHT y Regresión lineal simple	*	*	*
PPHT, RANSAC y Regresión lineal simple	0,217497619	0,128952579	1,512534053

\* No ha completado el circuito

# Contenido

Introducción

Objetivos

Marco teórico

Pruebas y resultados

Trabajos futuros

Planteamiento del problema

Metodología

Desarrollo del trabajo

Conclusiones

Preguntas

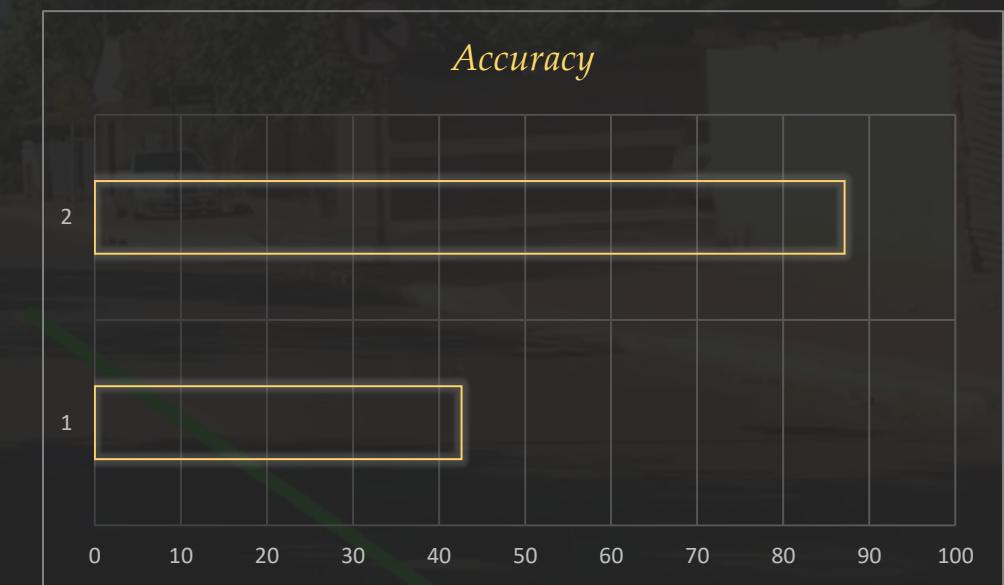
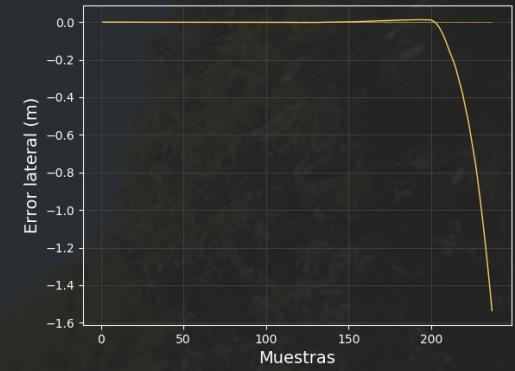
# Conclusiones



Ground Truth  
Prediction



Conclusiones



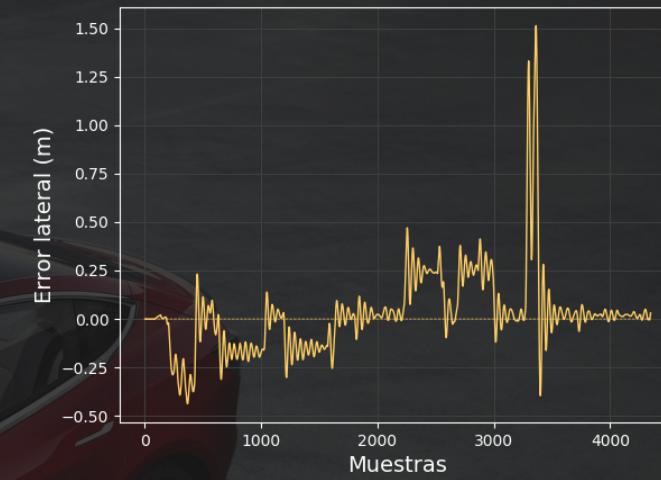
Ground Truth  
Prediction



Conclusiones



# Conclusiones



# Contenido

Introducción

Objetivos

Marco teórico

Pruebas y resultados

Trabajos futuros

Planteamiento del problema

Metodología

Desarrollo del trabajo

Conclusiones

Preguntas

## Se propone

- Diseñar un sistema de advertencia de abandono de carril e implementarlo en un vehículo a escala real.
- Diseñar e implementar un algoritmo de detección de carriles basado en redes neuronales convolucionales.
- Implementar los algoritmos propuestos en este proyecto en un vehículo eléctrico a escala.

## Se propone

- Diseñar un algoritmo de control clásico o moderno para el sistema de ayuda de permanencia en el carril.
- En base a los algoritmos propuestos, modelar los carriles con curvas de segundo orden o superior y agregar una etapa de predicción de las siguientes posiciones de las marcas del carril, por ejemplo, a través del filtro de Kalman, el filtro de Kalman extendido o un filtro de partículas.

# Contenido

Introducción

Objetivos

Marco teórico

Pruebas y resultados

Trabajos futuros

Planteamiento del problema

Metodología

Desarrollo del trabajo

Conclusiones

Preguntas

Preguntas

¿Preguntas?

Muchas gracias por su atención.

## Bibliografía

- Alegre, E., Pajares, G., & de la Escalera, A. (2016). Conceptos y Métodos en Visión por Computador. España: Grupo de Visión del Comite Español de Automática (CEA).
- Szeliski, R. (2010). Computer Vision: Algorithms and Applications. Springer.
- Neven, D., Brabandere, B. D., Georgoulis, S., & Gool, M. P. (2018). Towards End-to-End Lane Detection: an Instance Segmentation. 2018 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), 286290
- Lim, H., Seng, K., Ang, L. & Chin, S. (2009). Lane detection and kalman-based linear-parabolic lane tracking. International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics, 351-354.
- Xing, Y., Lv, C., Chen, L., Wang, H., Wang, H., Cao, D., . . . Wang, F.-Y. (2018). Advances in Vision-Based Lane Detection: Algorithms, Integration, Assessment, and Perspectives on ACP-Based Parallel Vision . IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 646.

## Bibliografía

- Borkar, A., Hayes, M., & Smith, M. T. (2012). A Novel Lane Detection System With Efficient Ground Truth Generation. *IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems*, 365373.
- Li, J., Mei, X., Prokhorov, D., & Tao, D. (2016). Deep Neural Network for Structural Prediction and Lane Detection in Traffic Scene . *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 1-12
- Desegur, L. (2018). A Lane Detection Approach for Self-Driving Vehicles. Obtenido de GitHub, Inc.: <https://github.com/ldesegur/CarND-LaneLines-P1>
- TuSimple, Inc. (2017). TuSimple Lane Detection Challenge. Recuperado el 20 de 04 de 2020, de Github, Inc.: [https://github.com/TuSimple/tusimplebenchmark/tree/master/doc/lane\\_detection](https://github.com/TuSimple/tusimplebenchmark/tree/master/doc/lane_detection)
- CARLA Team. (s.f.). CARLA Documentation. Recuperado el 10 de 04 de 2020, de CARLA Documentation: <https://carla.readthedocs.io/en/latest/>