

---

# Robótica de Servicio

*José María Cañas*

*josemaria.plaza@urjc.es*



*Grado Ingeniería Robótica Software, Curso 2023-2024*

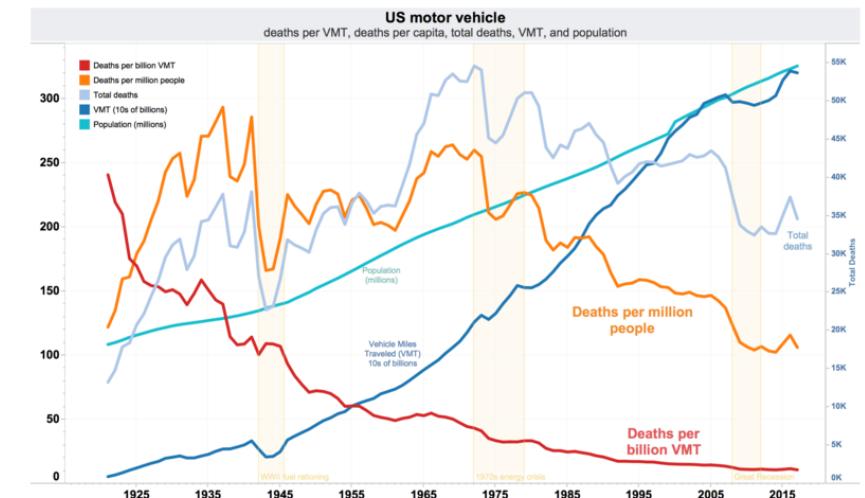
---

# Conducción autónoma

# Introducción

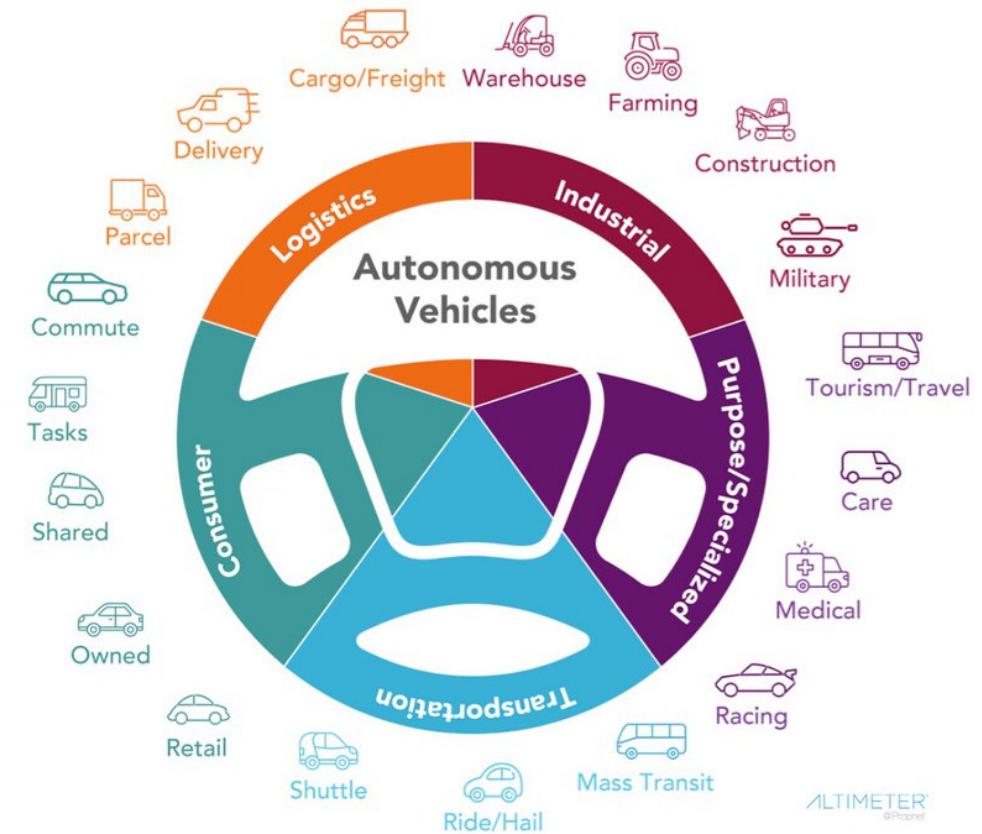
- ¿puede un coche conducir solo?
- menor siniestralidad, mayor seguridad
  - 1.35 millones de muertes al año
  - 94 % causados por error humano
- aumentar movilidad

personas mayores, ciegos,  
movilidad reducida...
- mejorar eficiencia  
reducir costes conductores,  
precios más bajos



## Muchas aplicaciones potenciales

- transporte de personas:  
robotaxis, autobuses...
- transporte de mercancías:  
logística,  
reparto última milla...



## Primero fue la investigación

- investigación en los 80-90:  
NavLab (CMU), Mercedes-Benz
- espaldarazo competiciones internacionales
  - DARPA Grand Challenge (2004-2005)
  - DARPA Urban Challenge (2007)
- ... sí\*, con tecnología robótica.  
Viabilidad técnica OK
- problema complejo



## Los coches autónomos son robots

- robot = hw + sw
- hw: sensores, actuadores, procesadores
- cuerpo mecánico: coches, autobuses, camiones
- software: percepción, actuación, procesamiento de información, toma de decisiones
- capacidades: navegación autónoma, HRI con el usuario...

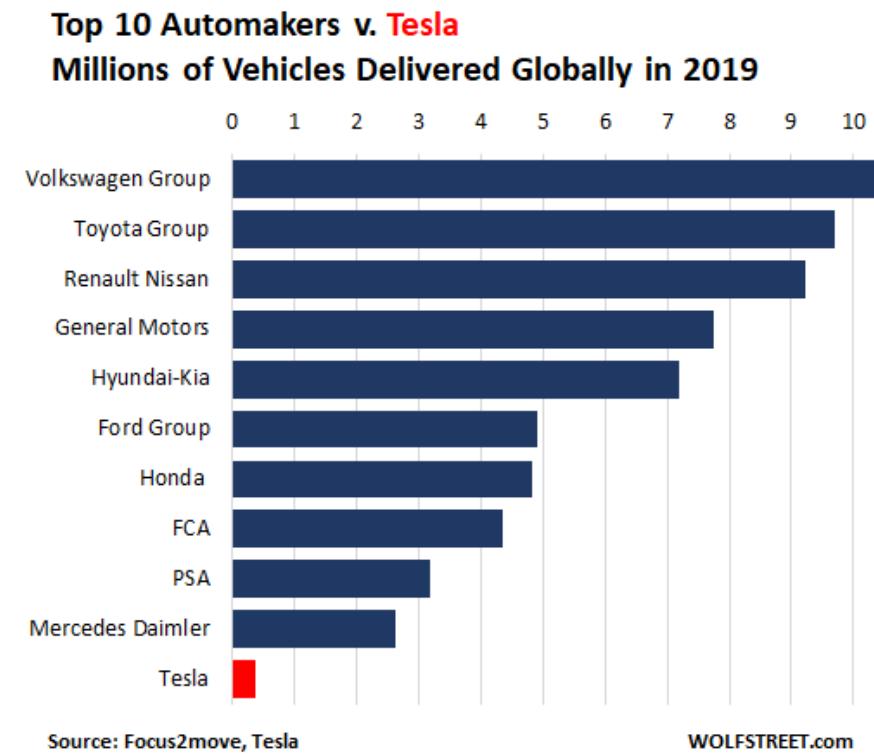
## Desarrollo y adopción masiva de esta nueva tecnología

- madurando y extendiendo su uso
- seguridad, sin accidentes
  - sin → cada vez menos
  - fallos tienen consecuencias fatales  
ejemplo 2016, ejemplo 2020
  - salvadas
- ciberseguridad, hackeos (Jeep 2015)

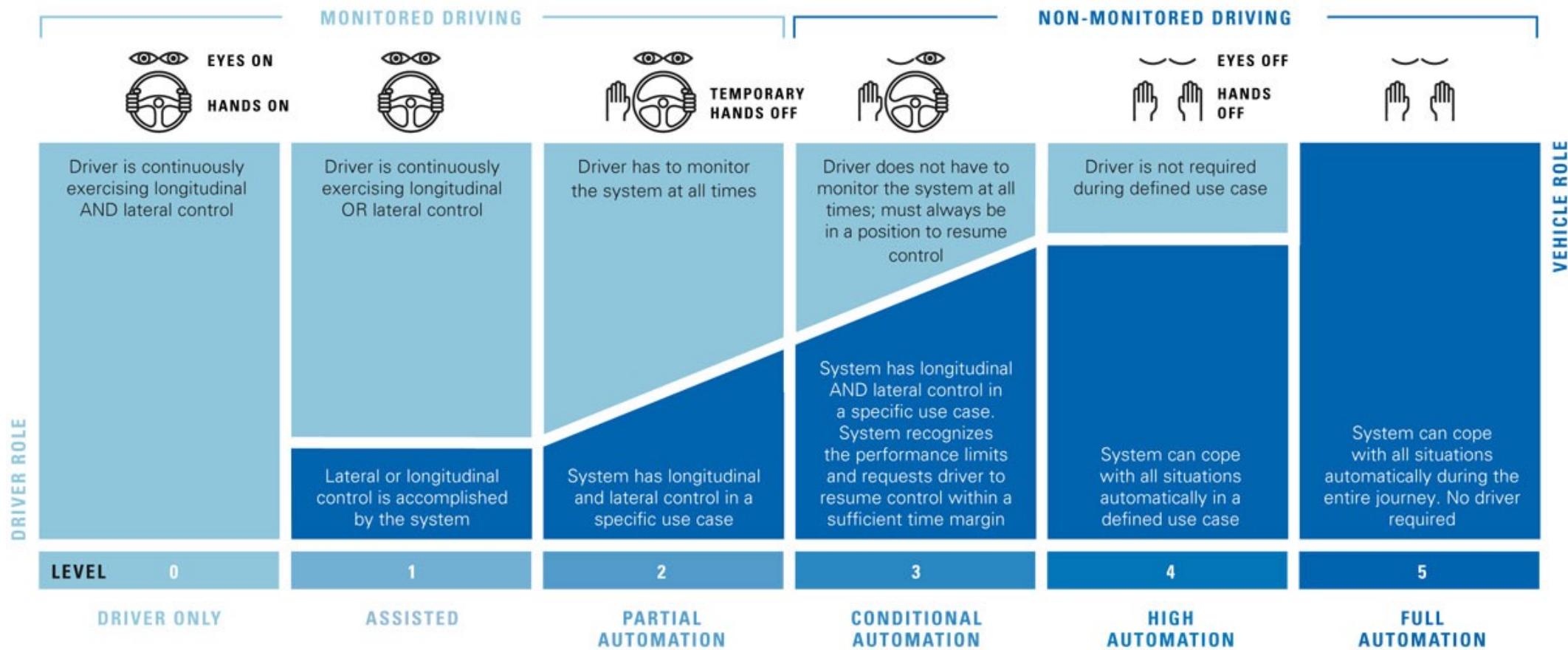


## Hoy llegando a productos masivos

- Waymo (Google)  
servicio taxi en Phoenix (2017, >300)  
en San Francisco (2021)
- AutoX (Alibaba)  
servicio taxi en Shenzhen (2020, 25)
- Aptiv → Motional
- Uber → Aurora
- Tesla: coche autónomo y eléctrico
- y todos los fabricantes tradicionales
- Navya: autobuses, carros de equipaje



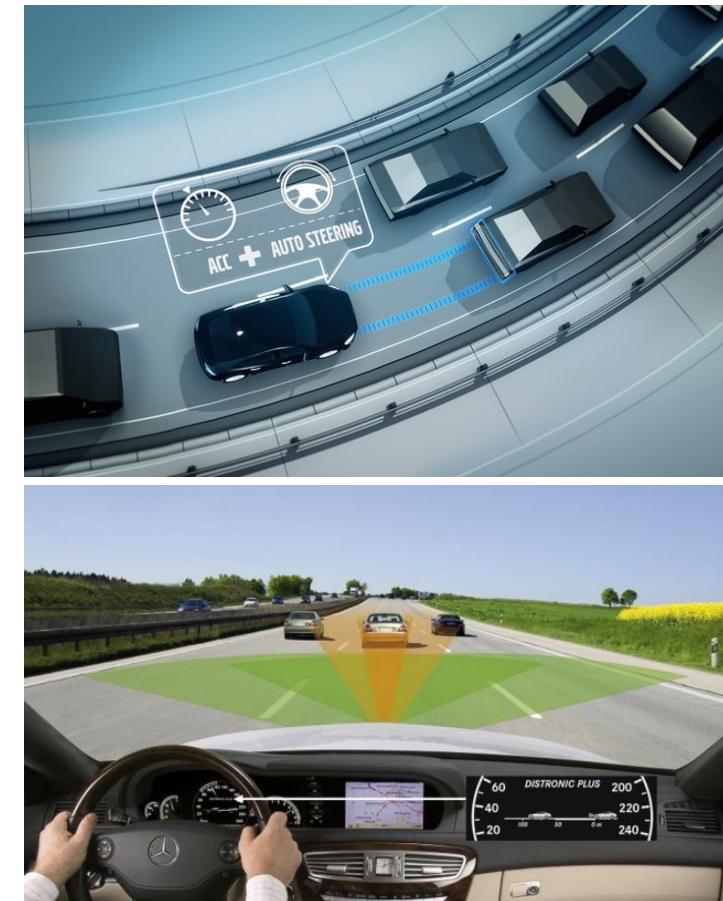
## Niveles de autonomía: J3016 (SAE)



Mike Lemanski

## Sistemas de ayuda a la conducción (ADAS)

- pasivos (ABS, ESC, cámaras, sonar...) y activos
- control de crucero velocidad de referencia
- control de crucero adaptativo (ACC) distancia al de delante
- mantenimiento de carril (LKS) o aviso de salida de carril (LDWS)
- frenada de emergencia (AEB)
- autoaparcamiento



## Robustez en situaciones heterogéneas (dependability)

- problema complejo
- escenarios muy variados: autopistas, autoaparcamiento, atascos, recintos cerrados, entornos urbanos...
- condiciones climatológicas, luz...



## Son robots móviles... Hardware

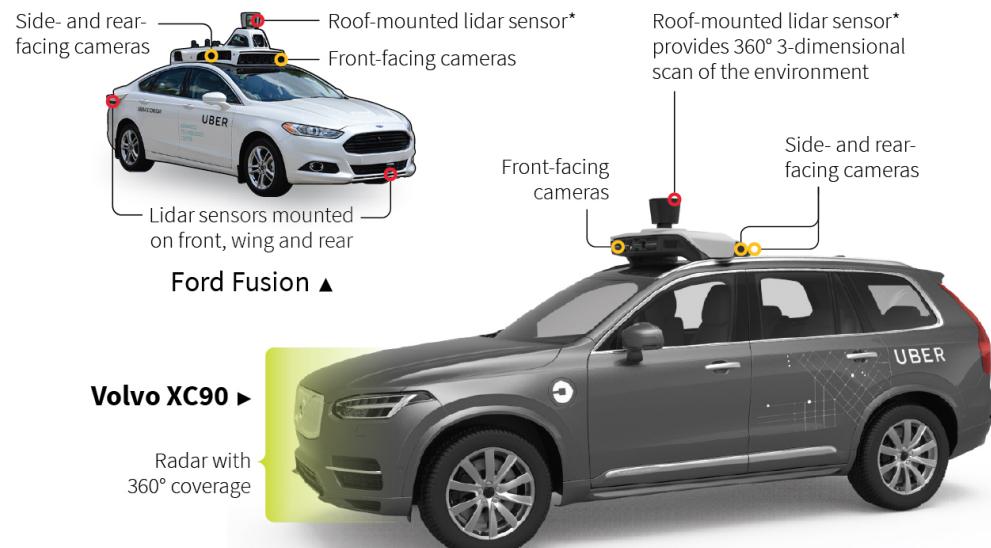
- sensores
  - GPS, IMUs, odometría
  - LIDAR, cámaras, radar, US
  - micrófonos
- actuadores
  - acelerador
  - freno
  - volante
  - señalización
- procesadores: CPUs, GPUs

### How Uber altered safety sensors on newest test cars

Uber's self-driving Volvo SUV that struck and killed a pedestrian last week in Tempe, Arizona, used fewer safety sensors than the self-driving Ford Fusions that Uber phased out of its test fleet last year.

#### UBER SELF-DRIVING VEHICLE SAFETY SENSOR SUITE

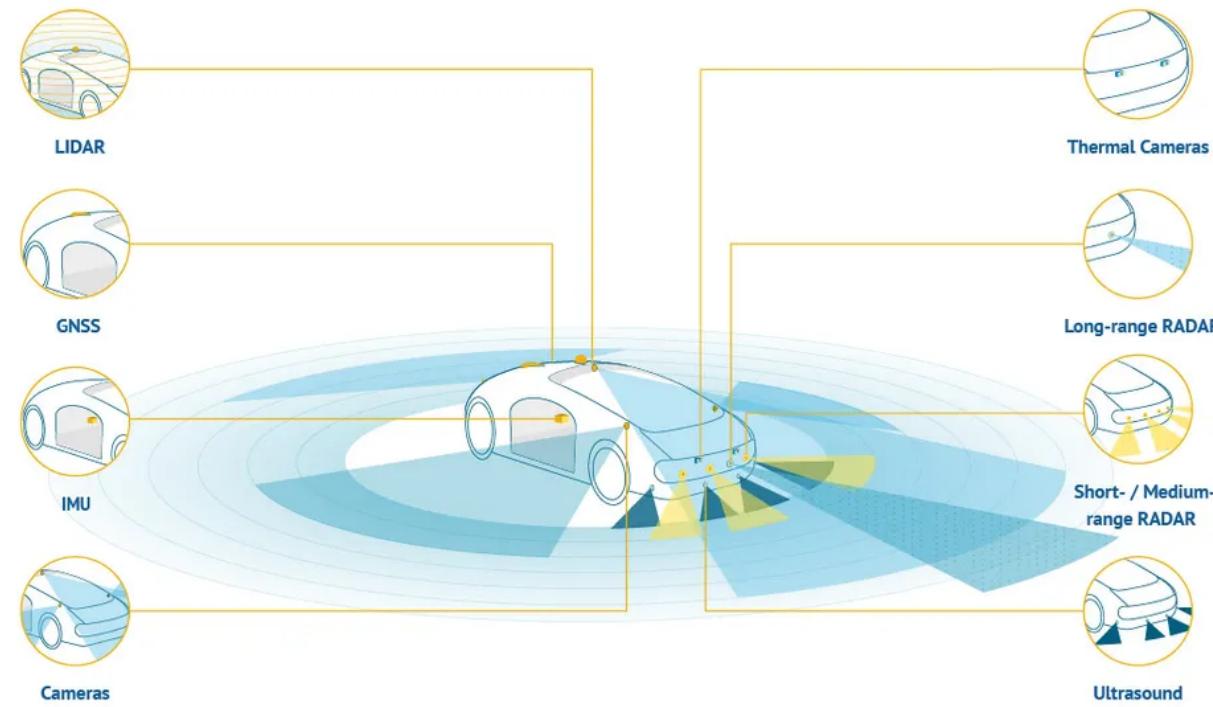
	LIDAR	RADAR	CAMERA
Volvo XC90	● 1	● ● ● ● ● ● ● ● 10	● ● ● ● 7
Ford Fusion	● ● ● ● ● 7	● ● ● ● ● 7	● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● 20



Source: Uber  
Images: Uber  
W. Foo, 28/03/2018

## Sensores habituales

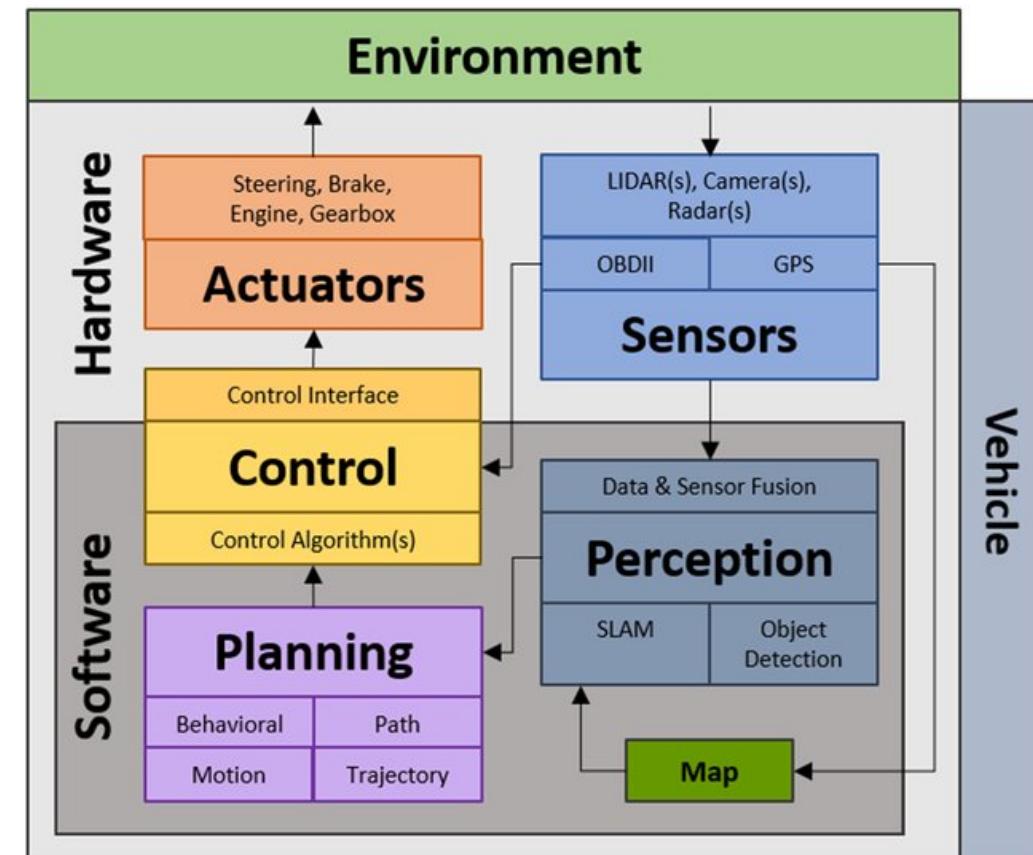
	Camera	Radar	Lidar
			
Detect Lanes	✓	✗	✗
Detect Cars	✓	✓	✓
Detect Traffic Signs/Lights	✓	✗	✗
Detect Humans	✓	✓/✗	✓
			
<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Low Cost</li><li>✓ Convenient Packaging</li><li>✓ All applications in one system</li></ul>		<ul style="list-style-type: none"><li>✗ Poor signal on pedestrians</li><li>✗ “Blind” to standing objects</li></ul>	
		<ul style="list-style-type: none"><li>✗ High cost of capable systems limits mass market potential</li><li>✗ Low cost versions are limited in resolution</li></ul>	

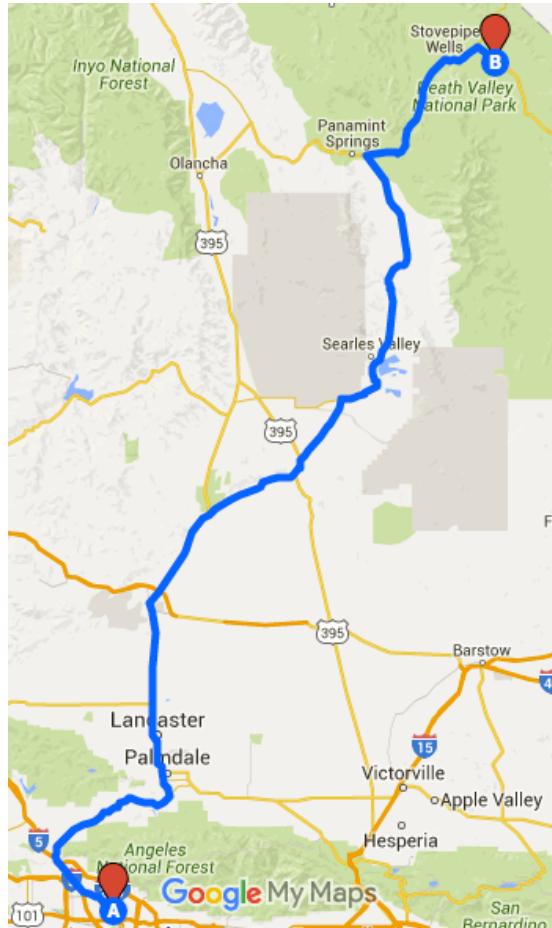


Sensor	Measurement distance (m)	Cost (\$)	Data rate (Mbps)
Cameras	0-250	4-200	500-3500
Ultrasound	0.02-10	30-400	< 0.01
RADAR	0.2-300	30-400	0.1-15
LIDAR	Up to 250	1,000-75,000	20-100

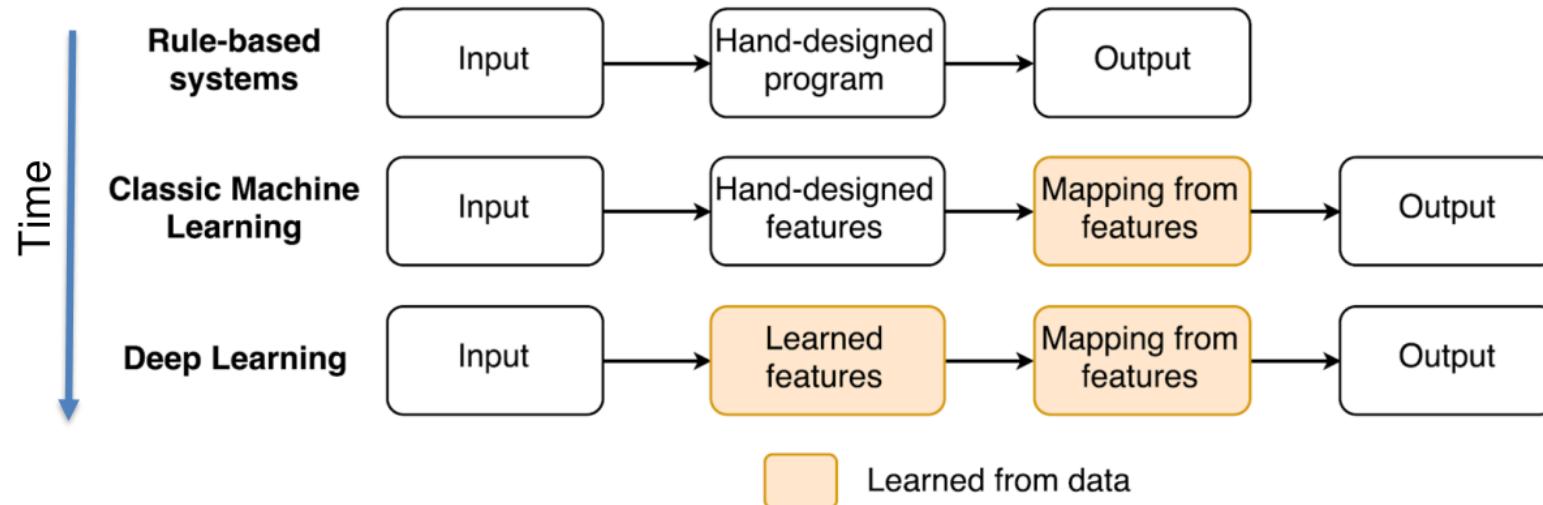
## Software: algoritmos, arquitectura

- percepción
  - fusión sensorial
  - escena
  - localización
- planificación
  - ruta, global
  - local
- control





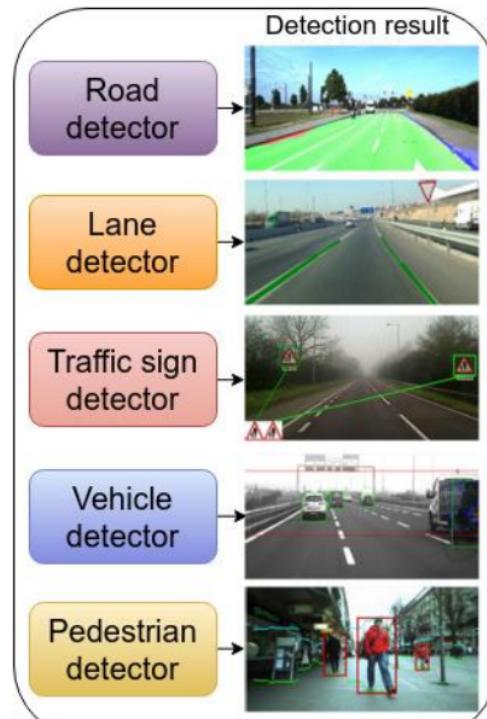
- trayectorias espaciales (ejemplo UAH)
- entorno local y predicciones
- Waymo: “ChauffeurNet: Learning to Drive by Imitating the Best and Synthesizing the Worst”, Bansal et al, 2018, DL (RNN)

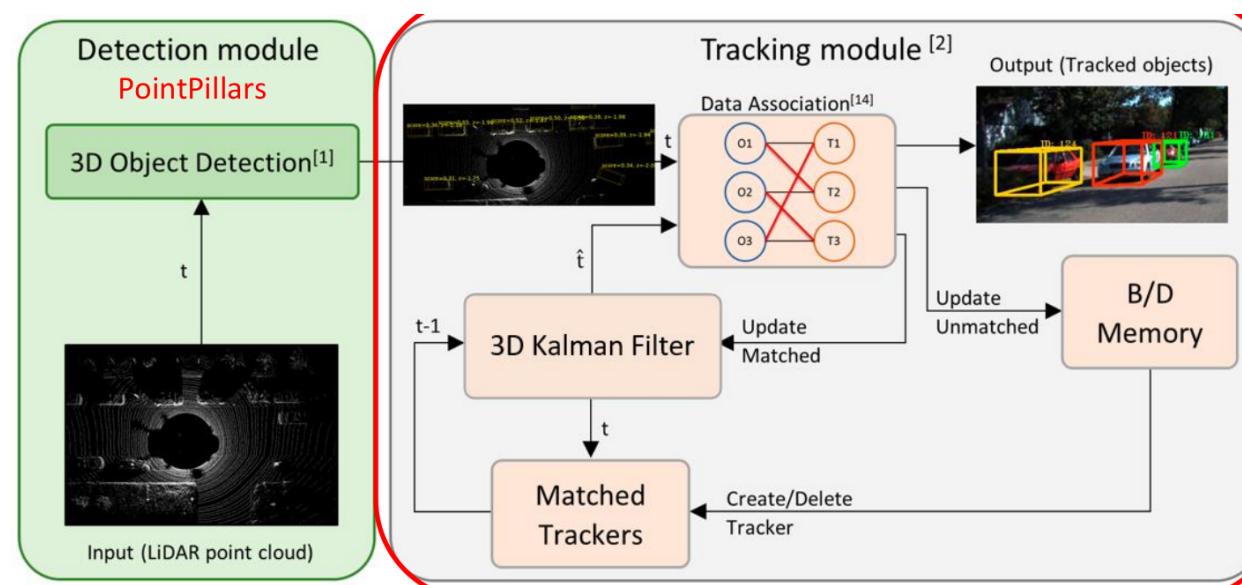
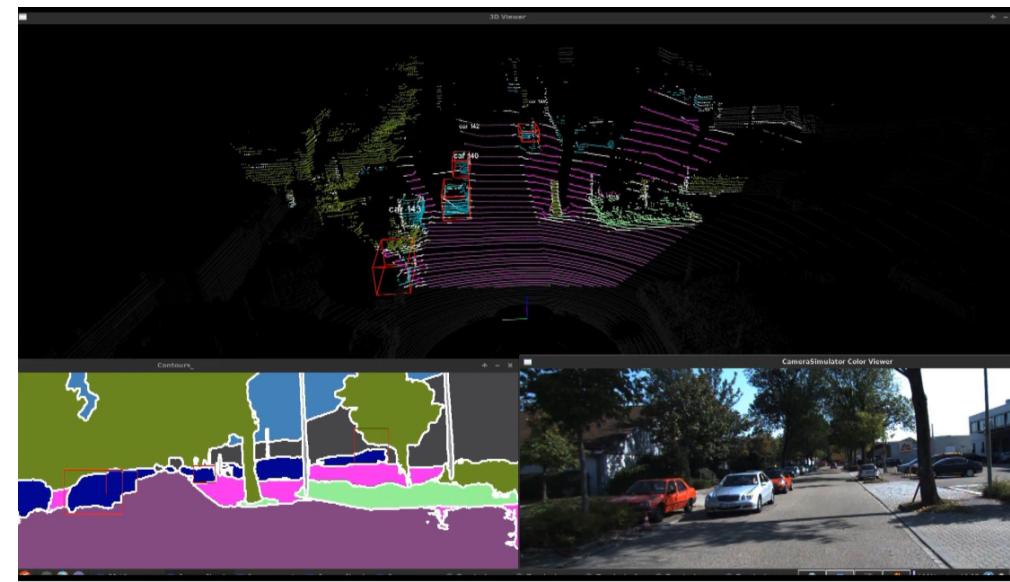


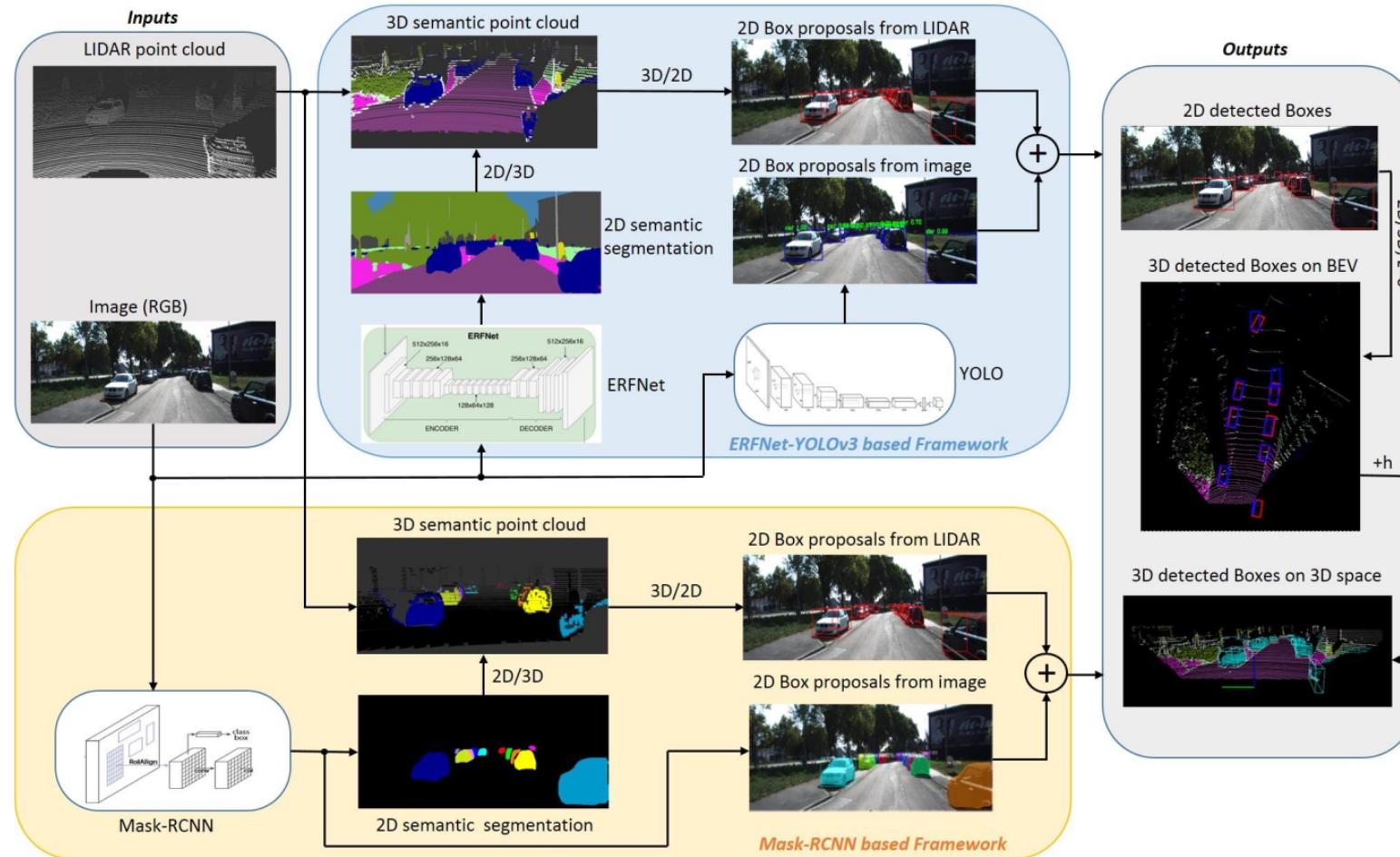
- programación manual → IA clásica → *importancia creciente de DL*
- IA clásica: características + clasificación
- CNN, RNN, DRL
- sistemas extremo a extremo: control visual (ejemplo1, ejemplo2)

## Percepción ágil y robusta

- *entender la escena*: carretera, peatón, vehículos, señales, carril...
- detección y seguimiento multiobjeto en 3D
- fusión LIDAR + cámaras (sólo visión carece de razonamiento espacial)
- Deep Learning a tope
- de la detección basada en modelos (detectores por separado) a la segmentación semántica, cada píxel se clasifica y las instancias se segmentan (ejemplo nVidia)
- predicción del comportamiento de los objetos de la escena



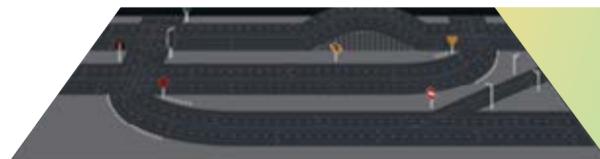




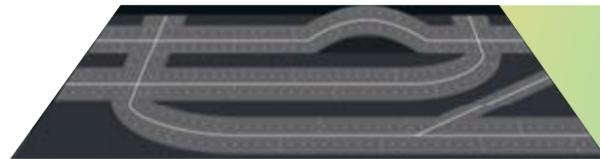
## Mapas HD (High Definition mapping)

- inventario detallado de características de la carretera y objetos al lado: carriles, señales de tráfico, curvaturas, pendientes, restricciones velocidad, obras, etc..
- precisión métrica y actualización continua
- extiende información: 360°, condiciones meteorológicas difíciles...
- se combinan con percepción a bordo

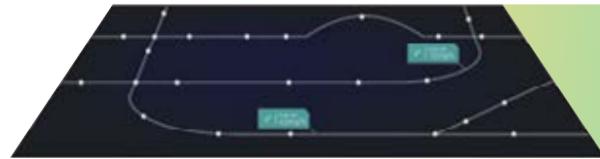


→ **HD Localization | L2+/L3/L4**

Roadside furniture, such as signs, barriers, poles, signals, road surface marking, places of interest and overhead structures

→ **HD Lanes | L1/L2**

Lane level features, such as types, lines, widths, markings, boundaries, access characteristics, stop areas, raised surfaces, and speed limits

→ **HD Road | L0/L1**

Road characteristics, such as topology, direction of travel, elevation, slope, ramps, rules, boundaries, tunnels and intersections

- organizados por capas, SDK
- uso en navegadores actuales (ADAS) y en conducción autónoma
- mercado de proveedores: TomTom, HERE, nVidia...
- standarización para interoperabilidad, NDS association (Navigation Data Standards). Apenas incipiente

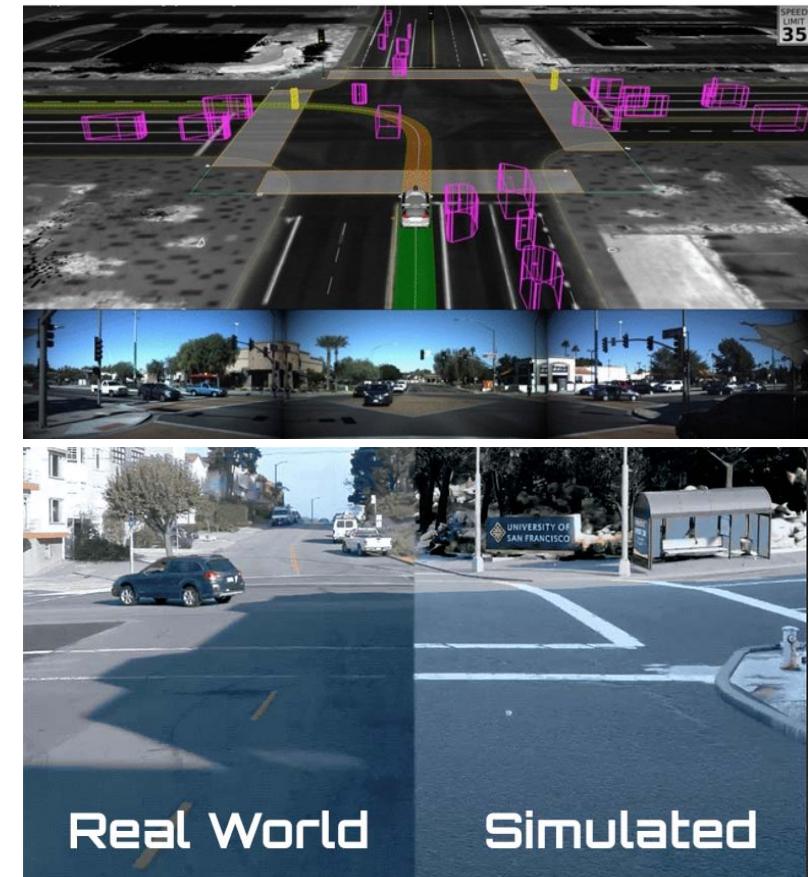
## Interfaz de usuario



- gráfico: entorno local, mapa global con ruta, variables internas
- audio, voz

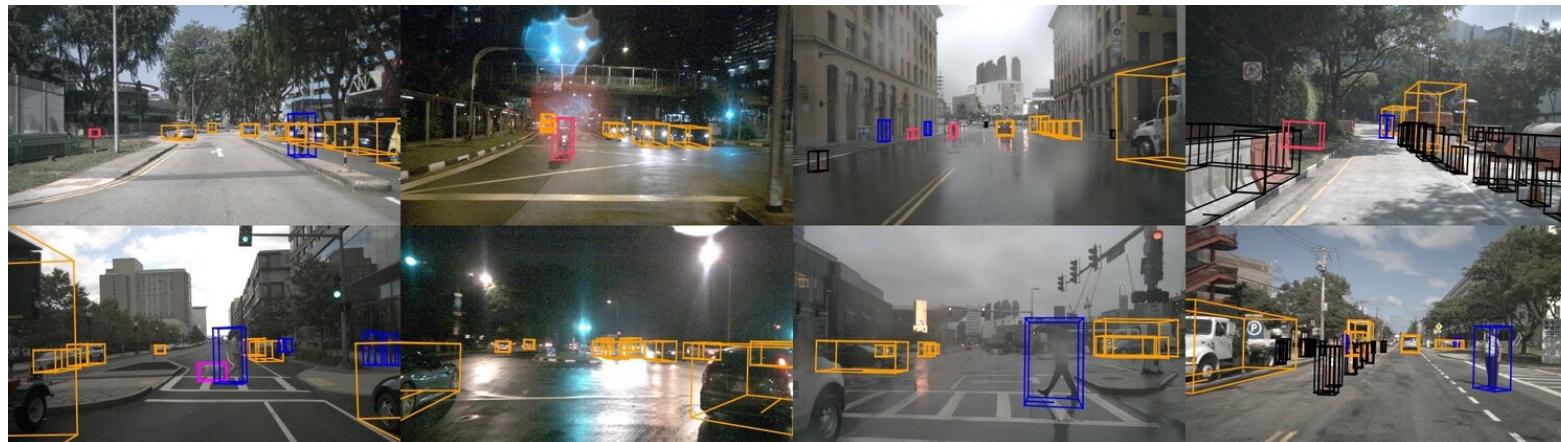
## Simuladores

- crucial para madurar el software
  - entrenar modelos
  - validar software
  - escenarios difíciles o raros
  - respuesta en choques reales
- realista y fotorealista
- Waymo: Carcraft, SimulationCity
- Carla
- Udacity car simulator



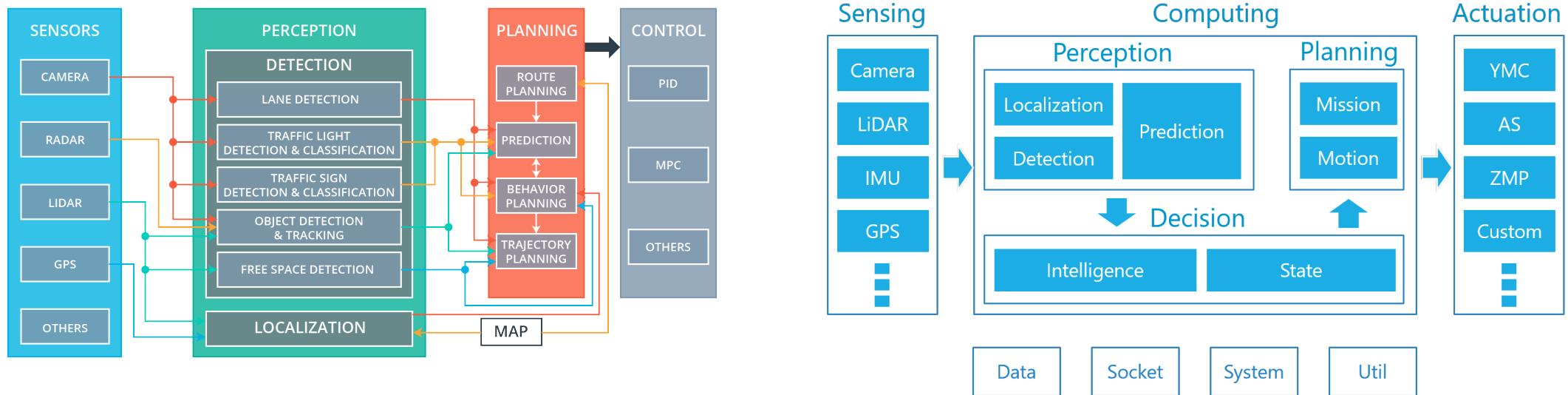
## Datos, datos y datos

- crucial para madurar el software, variedad de situaciones reales
- entrenar las partes de IA, etiquetados
- cada vez + datos reales acumulados
  - nuScenes Dataset
  - KITTI Vision Benchmark Suite



## Software libre? Datos libres?

- Udacity: simulador, software
- fundación Autoware, github

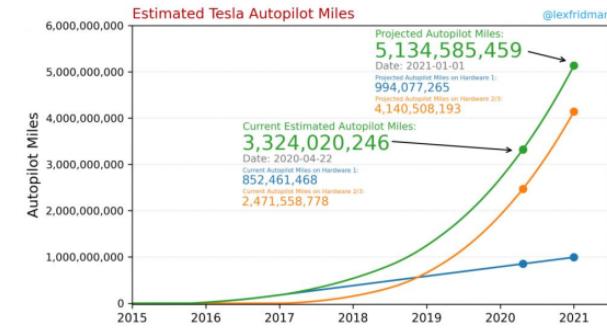


## Pruebas reales

- pruebas en entornos reales, ciudades
- permisos especiales del regulador
- #kilómetros entre desactivaciones
- #kilómetros recorridos
- accidentes: ¿mejora lo actual?
- dilemas éticos: ¡poco frecuentes!
- ¿de quién es la responsabilidad?



Example L2 System:  
**Tesla Autopilot**  
3+ billion miles



Example L4 System:  
**Waymo**  
20+ million miles

