



Estrategias de navegación para robótica móvil de campo: caso de estudio proyecto WeLASER

Dr. Luis EMMI

Investigador Postdoctoral

Centro de Automática y Robótica (UPM-CSIC)

luis.emmi@car.upm-csic.es

Índice

1 Robótica móvil de servicios

- Conceptos e indicadores económicos
- Robótica móvil para uso profesional

2 Estado de la técnica

- Capacidades actuales de la robótica móvil de servicios
- Oportunidades para incrementar su autonomía

3 Proyecto WeLASER

- Descripción del proyecto
- Estrategias de navegación

4 Oportunidades

- Grupo de robótica de exteriores y de servicios

Conceptos

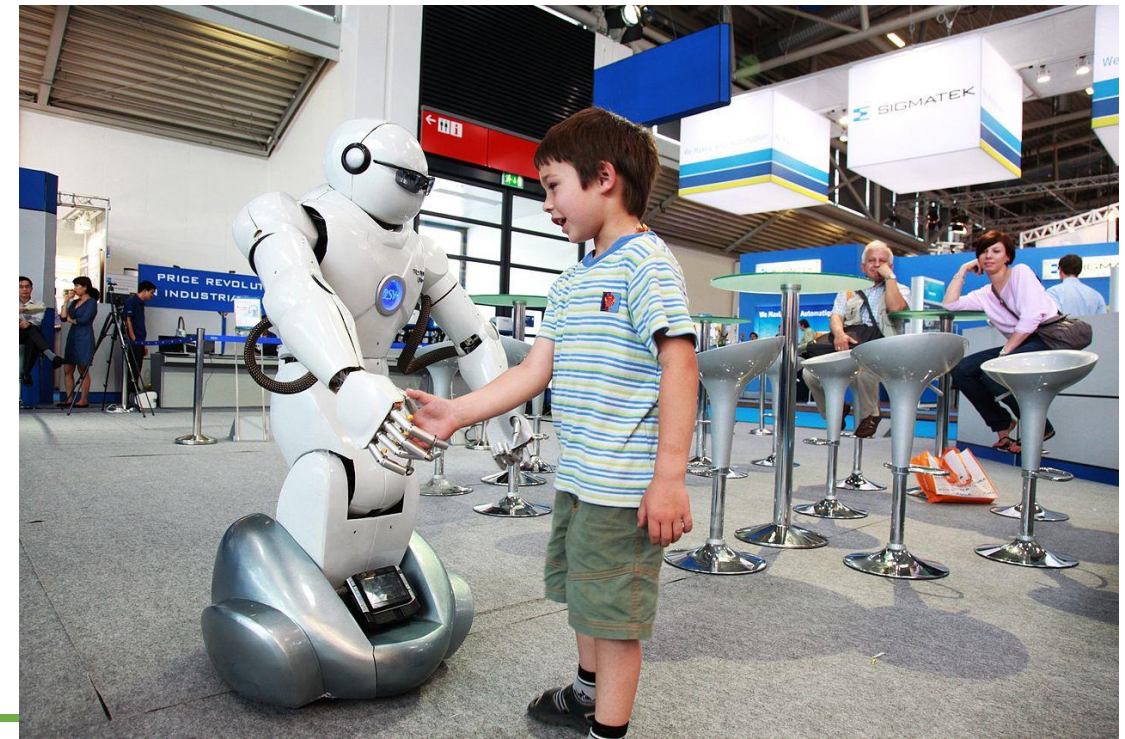
Robot — mecanismo accionado programable en dos o más ejes con un grado de autonomía, moviéndose dentro de su entorno, para realizar las tareas previstas (*ISO 8373:2012 Robots and robotic devices — Vocabulary*).

▪ Robótica industrial



Robotized Float Glass Unloading. ICAPlants

▪ Robótica de servicios



TOPIO Dio - Service Robot at Automatica Exhibition 2010, Munich, Germany. Humanrobo

Conceptos

Se centra en tareas útiles para el bienestar de los seres humanos, fuera del entorno de fabricación (*ISO 8373:2012 Robots and robotic devices — Vocabulary*).

- Robots personales



- Robots para uso profesional



Clasificación

□ Robots de servicios para uso profesional

- Robots de campo
- Limpieza profesional
- Construcción y demolición
- Sistemas logísticos
- Sistemas de inspección y mantenimiento
- Robótica médica
- Aplicaciones de salvamento y seguridad
- Sistemas submarinos (uso civil / general)
- Aplicaciones de defensa
- Exoesqueletos humanos motorizados
- Plataformas móviles de uso general
- Relaciones públicas y paseos divertidos

- **Agricultura**
- Robots de ordeño y robótica ganadera
- Sistemas mineros
- Robots espaciales



Clasificación

□ Robots de servicios para uso profesional

▪ Robots de campo

• Agricultura

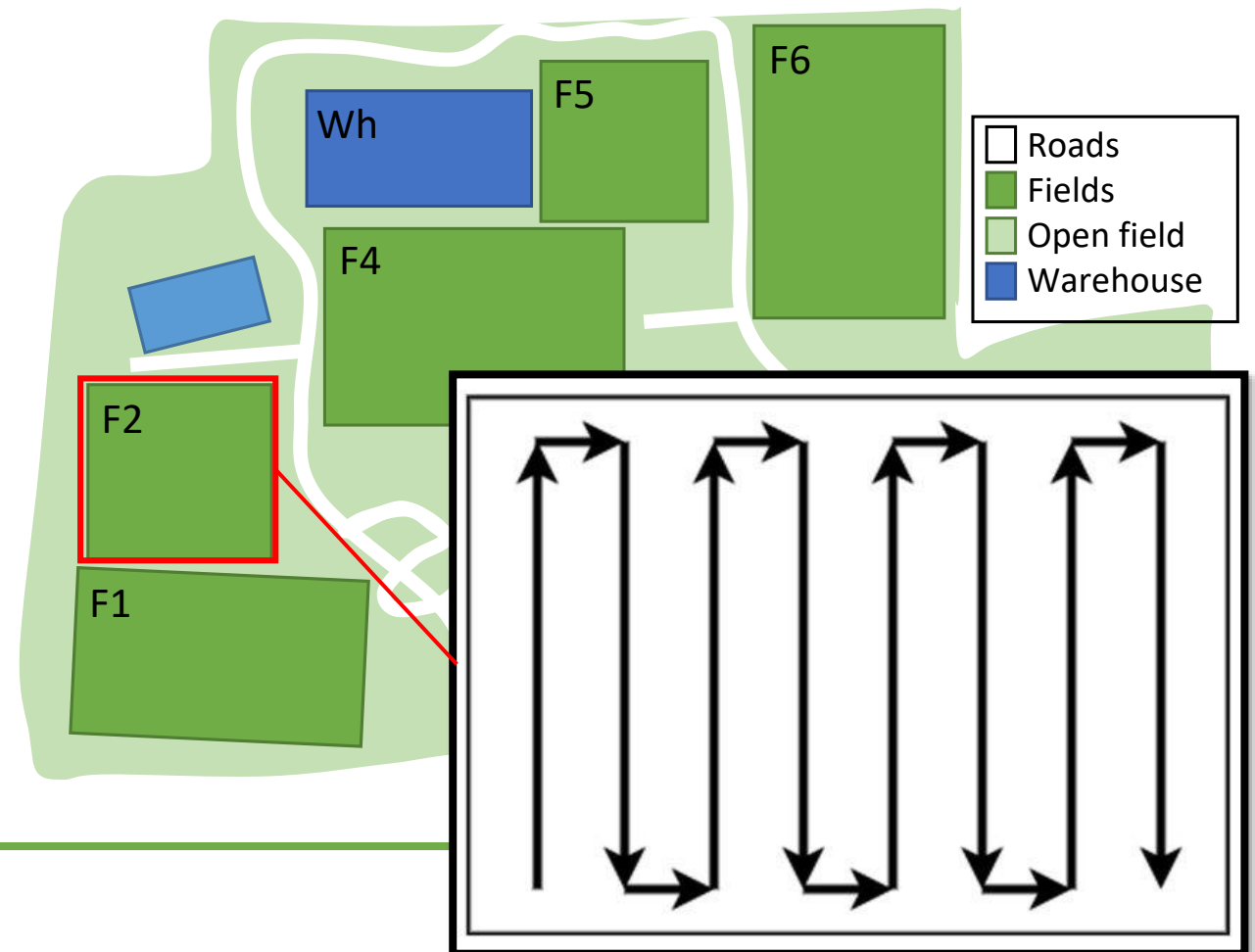


Clasificación

□ Robots de servicios para uso profesional

▪ Robots de campo

• Agricultura



Clasificación

□ Robots de servicios para uso profesional

▪ Robots de campo

• Agricultura



Clasificación

□ Robots de servicios para uso profesional

- Robots de campo
- Limpieza profesional
- Construcción y demolición
- Sistemas logísticos
- Sistemas de inspección y mantenimiento
- Robótica médica
- Aplicaciones de salvamento y seguridad
- Sistemas submarinos (uso civil / general)
- Aplicaciones de defensa
- Exoesqueletos humanos motorizados
- Plataformas móviles de uso general
- Relaciones públicas y paseos divertidos

- **Agricultura**
- Robots de ordeño y robótica ganadera
- Sistemas mineros
- Robots espaciales



Clasificación

□ Robots de servicios para uso profesional

▪ Robots para demolición



- Mayores generadores de residuos del mundo.
- La economía circular aparece como una solución útil
- Entorno inseguro e insalubre.

▪ Robots para inspección



LUIS A. CIVILIT

3 de mayo de 2022

Clasificación

□ Robots de servicios para uso profesional



Clasificación

□ Robots de servicios para uso profesional

- Presentan desafíos muy similares entre ellas
- Son áreas donde las tareas ejecutadas son arduas y riesgosas para los humanos
- Se estima un incremento en la adopción de la robótica en estas áreas de robots de servicios.

Pocos avances para resolver este problema de forma generalizada

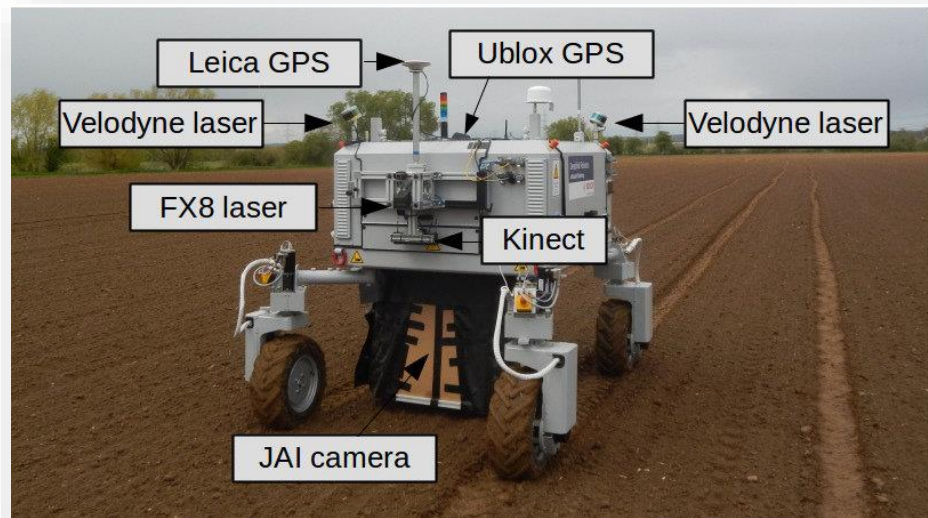


Clasificación

□ Robots de servicios para uso profesional

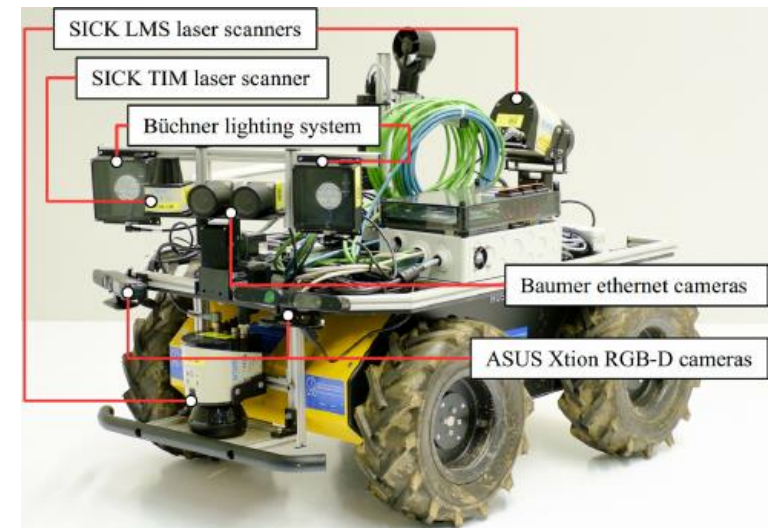
▪ Robots de campo

Agricultura



Chebrolu, N. et al. (2017). **Agricultural robot dataset for plant classification, localization and mapping on sugar beet fields.** *The International Journal of Robotics Research*, 36(10), 1045-1052.

Exploración minera



Grehl, S. et al. (2015). **Mining-rox-mobile robots in underground mining.** In *Proceedings of the Third International Future Mining Conference, Sydney, Australia* (pp. 4-6).

Clasificación

- Robots de servicios para uso profesional
 - **Robots de campo (Agricultura)**



Clasificación

□ Robots de servicios para uso profesional

▪ Robots de campo (Agricultura)

*The Royal Veterinary and Agricultural
University, Denmark, 2004*



BoniRob



*Queensland University of
Technology, Australia, 2015*



*Robotics Institute at Carnegie
Mellon University, USA, 2012*

Bosch Deepfield Robotics, Germany, 2015

1 Robótica móvil
de servicios

Clasificación

- Robots de servicios para uso profesional
 - Robots de campo (Agricultura)



Rippa



Oz



Greenbot



Thorvald II



Ladybird



Vibro Crop Robotti



Cäsar

Clasificación

□ Robots de servicios para uso profesional

▪ Robots de campo (Agricultura)

- ❖ Robot Fleets for Highly Effective Agriculture and Forestry Management (RHEA), Comisión Europea, FP7, NMP-245986, 2010-2014.



Clasificación

- Robots de servicios para uso profesional
 - Robots de campo (Agricultura)



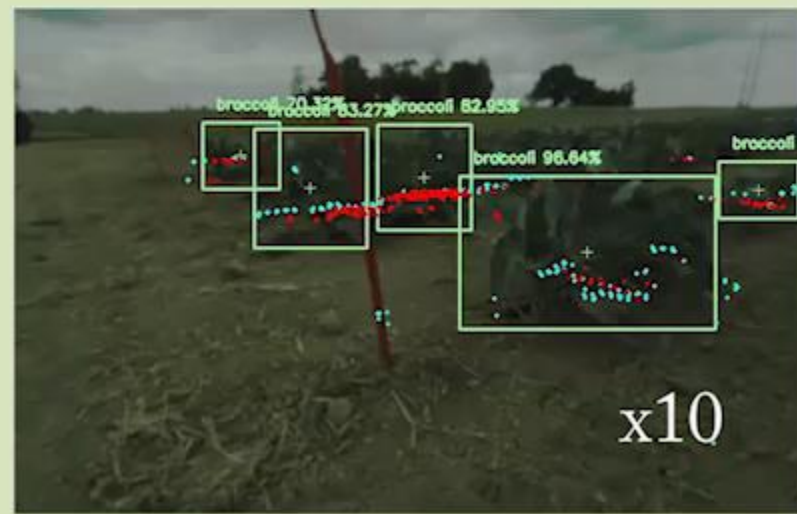
Clasificación

□ Robots de servicios para uso profesional

▪ Robots de campo (Agricultura)

❖ Désherbage Eco-efficient aUtonome et Robotisé (Désherb'EUR), 2017-2020.





Requerimientos (Resumen)

- ❑ Robots de servicios para uso profesional
 - De un sistema de navegación completo y complejo
 - De estrategias de fusión sensorial, incluyendo localización absoluta y relativa
 - Poca intervención por parte del operador
 - Y el hecho de no operar en espacios públicos, pudiera permitir menos trabas en cuanto a regulaciones

□ Robots de servicio: el futuro de todas las industrias

- Incremento en la demanda de servicios autónomos fuera del entorno de fabricación
- Robots personalizables para múltiples tipos de tareas y funciones
- Mercado en aumento a medida que la tecnología continúa desarrollándose y evolucionando día a día.



MARKETSANDMARKETS



Indicadores económicos

□ Dinámica del mercado de robótica de servicios

- Conductor (*Driver*): uso intensivo de robots en industrias automatizadas; uso creciente de tecnologías **IoT** y **AI** para mantenimiento predictivo y solución de fallos

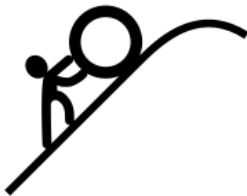


- Restricciones (*Restraint*): privacidad de datos, regulaciones y costes

- Oportunidad (*Opportunity*): heterogeneidad, flexibilidad y la adopción de inteligencia de enjambre para realizar tareas complejas



- Desafío (*Challenge*): resultados inexactos que impiden su uso en operaciones críticas

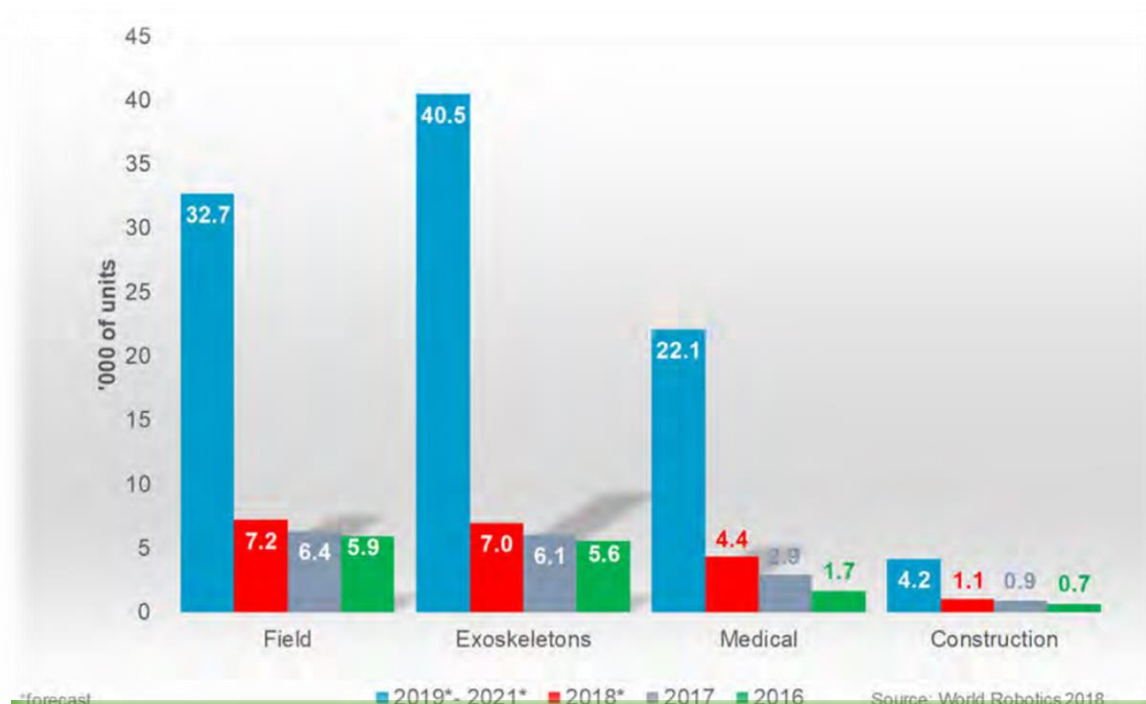


Indicadores económicos

□ Otros indicadores:

■ IFR (International Federation of Robotics):

20% - 25% de incremento en la venta de robots de servicios profesionales 2018 – 2020: robots médicos, logísticos y de campo



□ Otros indicadores:

■ **AI Data Robotics Partnership EU:**

Áreas verticales apoyadas por H2020 de aplicación clave:

- Cuidado de la salud
- Mantenimiento e inspección de infraestructuras
- Agri-Food
- Producción ágil

Otras áreas de interés en los últimos reportes:

- Transporte
- Construcción
- Logística
- Suministro de energía



Impacto esperado

- ❑ Robots de servicios para uso profesional
 - **Outcomes esperados Horizon Europe**



Declaración de intenciones

□ ¿Dónde aportar?

- Desafíos generales (*AI Data Robotics Partnership EU*)
 - ❖ Mejor y más segura colaboración entre humanos y robots
 - ❖ Mayor autonomía
 - ❖ Mayor ciberseguridad y marcos regulatorios más sólidos
 - ❖ Entre muchos otros



Declaración de intenciones

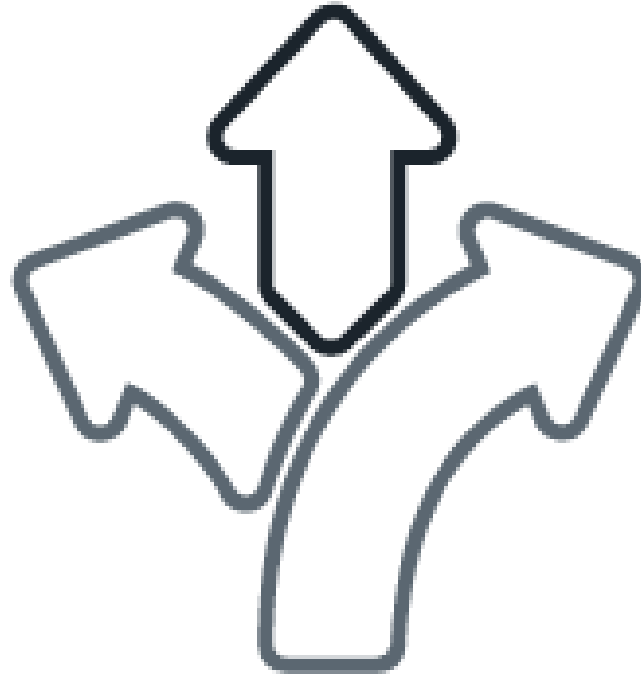
□ ¿Dónde aportar?

- Desafíos generales (*AI Data Robotics Partnership EU*)
 - ❖ Mejor y más segura colaboración entre humanos y robots
 - ❖ **Mayor autonomía**
 - ❖ Mayor ciberseguridad y marcos regulatorios más sólidos
 - ❖ Entre muchos otros



¿Qué métricas utilizar?

¿Cómo se define?



¿Qué nivel en la robótica de servicios profesionales?

Autonomía

Concepto de autonomía

□ Levels of Automation (LOA)

- (1) Manual control (MC)
 - (2) Action support (AS)
 - (3) Batch processing (BP)
 - (4) Shared control (SHC)
 - (5) Decision support (DS)
 - (6) Blended decision making (BDM)
 - (7) Rigid system (RS)
 - (8) Automated decision making (ADM)
 - (9) Supervisory control (SC)
 - (10) Full automation (FA)
-

Endsley, M. R., & Kaber, D. B. (1999). Level of automation effects on performance, situation awareness and workload in a dynamic control task. Ergonomics, 42(3), 462-492.

Concepto de autonomía

□ Levels of Automation (LOA)

- (7) Rigid system (RS)
- (8) Automated decision making (ADM)
- (9) Supervisory control (SC)
- (10) Full automation (FA)

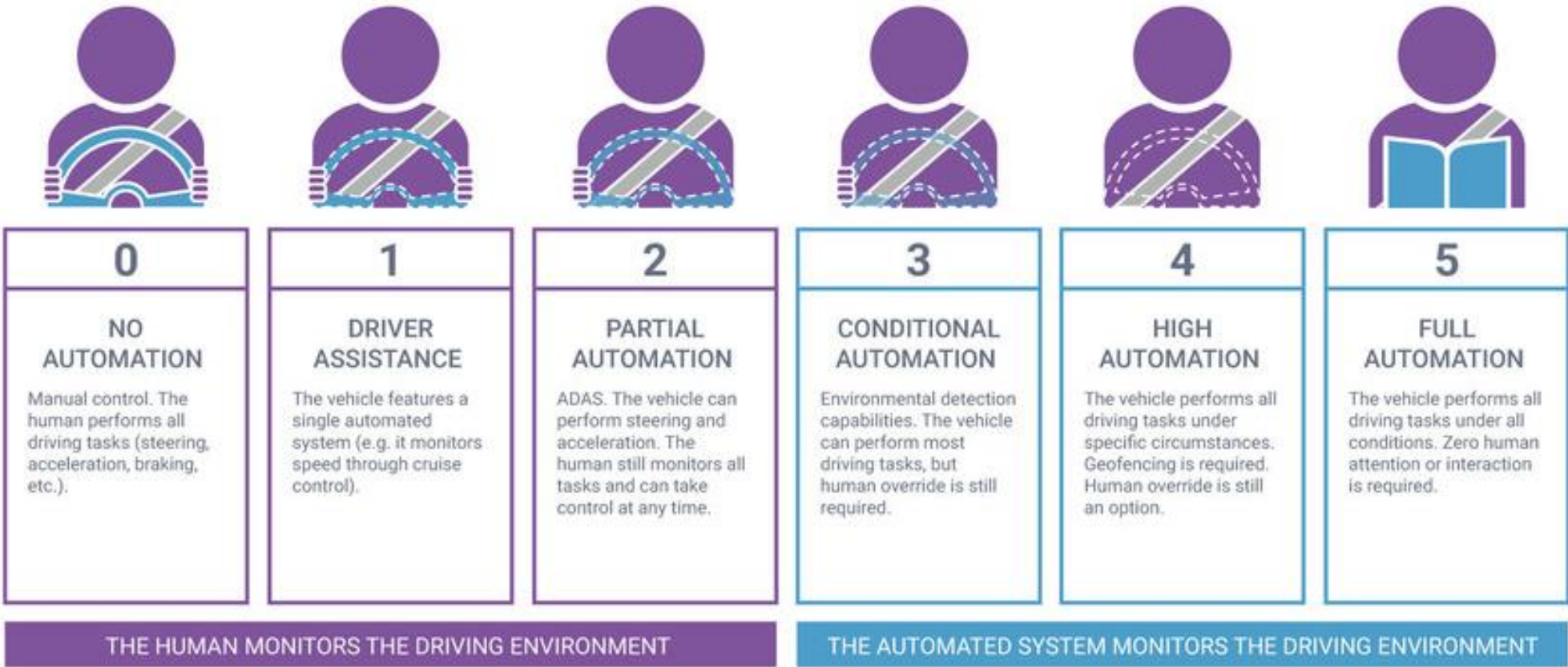
	Monitoring	Generating	Selecting	Implementing
(7)	Human/Computer	Computer	Human	Computer
(8)	Human/Computer	Human/Computer	Computer	Computer
(9)	Human/Computer	Computer	Computer	Computer
(10)	Computer	Computer	Computer	Computer

Endsley, M. R., & Kaber, D. B. (1999). Level of automation effects on performance, situation awareness and workload in a dynamic control task. Ergonomics, 42(3), 462-492.

Concepto de autonomía

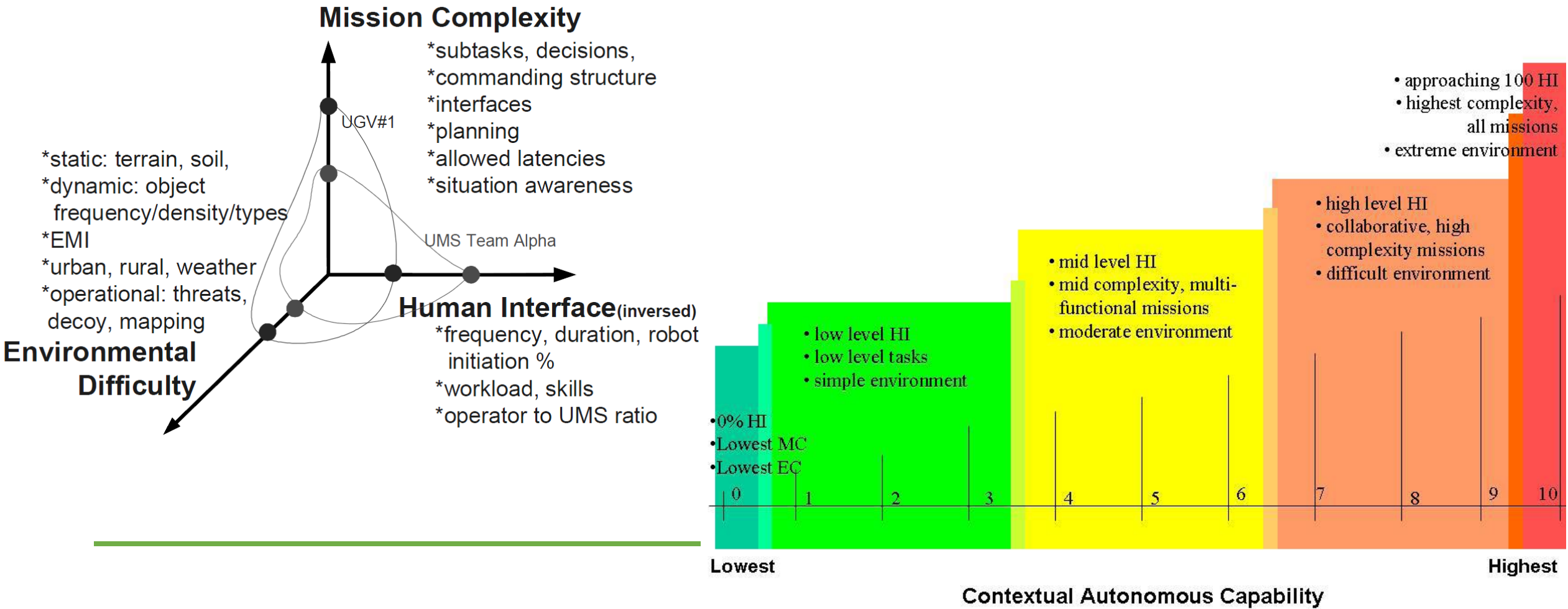
□ The Society of Automotive Engineers (SAE)

LEVELS OF DRIVING AUTOMATION



Concepto de autonomía

Autonomy Levels for Unmanned Systems (ALFUS) framework



Concepto de autonomía

□ ISO 8373:2012 Robots and robotic devices — Vocabulary

- **Autonomía:** capacidad para realizar las tareas previstas basadas en el estado actual y la detección, sin intervención humana
- La misión es definida por el usuario (*a priori*). Se encuentra constituida por un conjunto de tareas, y la capacidad para ejecutar dichas tareas define el nivel de autonomía de un sistema robótico

Concepto de autonomía

□ Ejemplos:



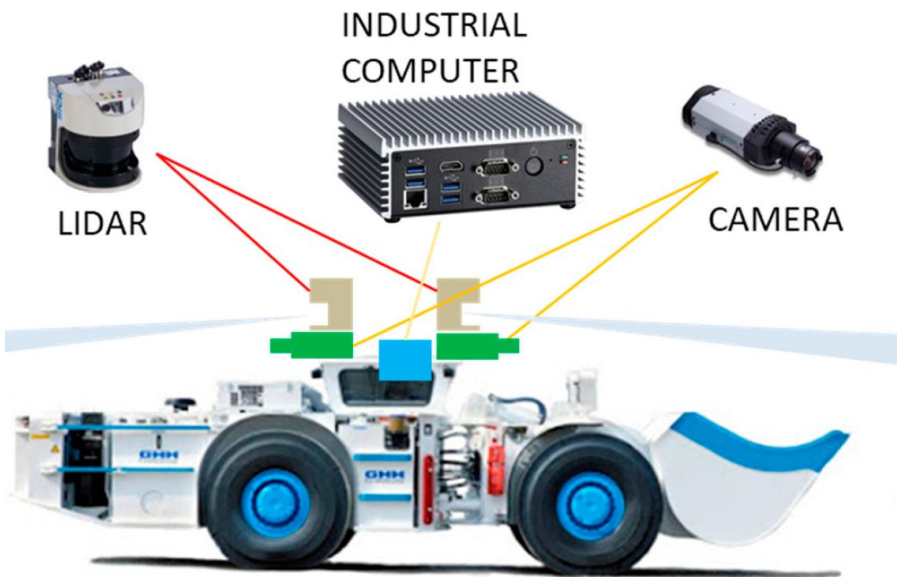
Oz

<https://www.youtube.com/watch?v=9LdXvkvcSxM>



Concepto de autonomía

Ejemplos:



Load Haul Dump (LHD)

<https://www.youtube.com/watch?v=4Q34N25XjpA>

Interface screenshot showing a top-down map of a tunnel on the left and a first-person camera view of the vehicle inside the tunnel on the right.

nterfaz	
ino	Caseron
rdo	260.928 [ms]
acion	Tunnel 9 (9/8)

#	--			O	C	M	Voltaje	26.7[V]
Debug Exec Exec Navigation Mission Navigation Task								

At the bottom, there are two analog speedometers (one in RPM, one in Km/h), a fuel gauge labeled 'F' and 'E', and a traffic light indicator showing the green light is on.

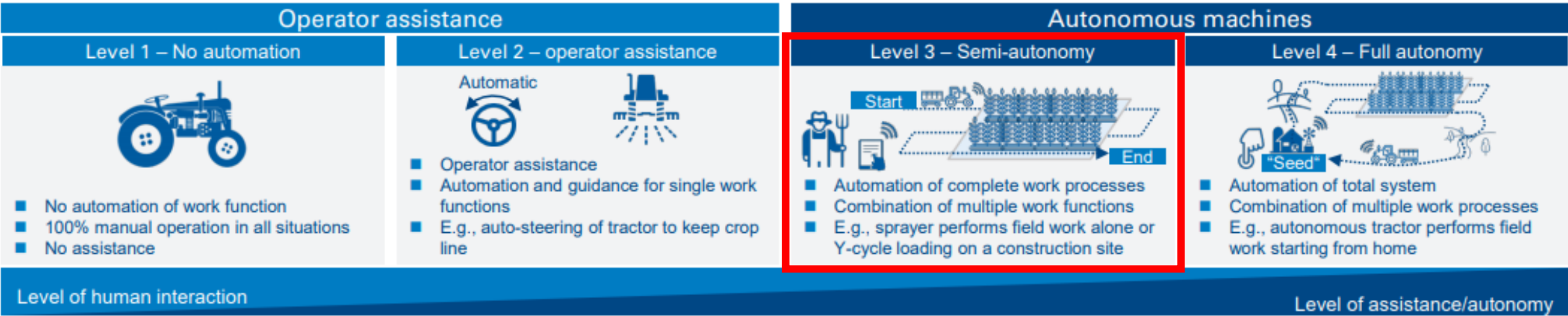
Mascaró, M. et al. (2021). Topological Navigation and Localization in Tunnels—Application to Autonomous Load-Haul-Dump Vehicles Operating in Underground Mines. *Applied Sciences*, 11(14), 6547.

Concepto de autonomía

Resumen:

- La mayoría de las soluciones llegan a un nivel medio de autonomía
- Los sistemas sensoriales y de actuación no requieren muchos cambios para alcanzar un mayor nivel
- ¿Cómo enfocar el desarrollo software para dar ese salto de nivel?

Arthur D. Little off-highway vehicle autonomy classification





Incremento en la capacidad de autonomía de robots móviles

□ Atributos de la autonomía de los robots:

Atributos de bajo nivel	Atributos de alto nivel
Aprendizaje (<i>Learning</i>)	Independencia del dominio (<i>Domain-independence</i>)
Conocimiento del contexto (<i>Context-awareness</i>)	Automotivación (<i>Self-motivation</i>)
Actuación (<i>Actuation</i>)	Auto identificación de objetivos (<i>Self-identification of goals</i>)
Percepción (<i>Perception</i>)	Auto recuperación (<i>Self-recoverability</i>)
Toma de decisiones (<i>Decision-making</i>)	Auto aprendizaje (<i>Self-learning</i>)

Ezenkwu, C. P., & Starkey, A. (2019, July). **Machine autonomy: Definition, approaches, challenges and research gaps**. In *Intelligent Computing-Proceedings of the Computing Conference* (pp. 335-358). Springer, Cham.

Incremento en la capacidad de autonomía de robots móviles

□ Atributos de la autonomía de los robots:

Atributos de bajo nivel	Atributos de alto nivel
Aprendizaje (<i>Learning</i>)	Independencia del dominio (<i>Domain-independence</i>)
Conocimiento del contexto (<i>Context-awareness</i>)	Automotivación (<i>Self-motivation</i>)
Actuación (<i>Actuation</i>)	Auto identificación de objetivos (<i>Self-identification of goals</i>)
Percepción (<i>Perception</i>)	Auto recuperación (<i>Self-recoverability</i>)
Toma de decisiones (<i>Decision-making</i>)	Auto aprendizaje (<i>Self-learning</i>)

Ezenkwu, C. P., & Starkey, A. (2019, July). **Machine autonomy: Definition, approaches, challenges and research gaps**. In *Intelligent Computing-Proceedings of the Computing Conference* (pp. 335-358). Springer, Cham.

Incremento en la capacidad de autonomía de robots móviles

□ Atributos de la autonomía de los robots:

Atributos de bajo nivel	Atributos de alto nivel
Aprendizaje (<i>Learning</i>)	Independencia del dominio (<i>Domain-independence</i>)
Conocimiento del contexto (<i>Context-awareness</i>)	Automotivación (<i>Self-motivation</i>)
Actuación (<i>Actuation</i>)	Auto identificación de objetivos (<i>Self-identification of goals</i>)
Percepción (<i>Perception</i>)	Auto recuperación (<i>Self-recoverability</i>)
Toma de decisiones (<i>Decision-making</i>)	Auto aprendizaje (<i>Self-learning</i>)

Ezenkwu, C. P., & Starkey, A. (2019, July). **Machine autonomy: Definition, approaches, challenges and research gaps**. In *Intelligent Computing-Proceedings of the Computing Conference* (pp. 335-358). Springer, Cham.

Incremento en la capacidad de autonomía de robots móviles

□ Atributos de la autonomía de los robots:

Atributos de bajo nivel	Atributos de alto nivel
Aprendizaje (<i>Learning</i>)	Independencia del dominio (<i>Domain-independence</i>)
Conocimiento del contexto (<i>Context-awareness</i>)	Automotivación (<i>Self-motivation</i>)
Actuación (<i>Actuation</i>)	Auto identificación de objetivos (<i>Self-identification of goals</i>)
Percepción (<i>Perception</i>)	Auto recuperación (<i>Self-recoverability</i>)
Toma de decisiones (<i>Decision-making</i>)	Auto aprendizaje (<i>Self-learning</i>)

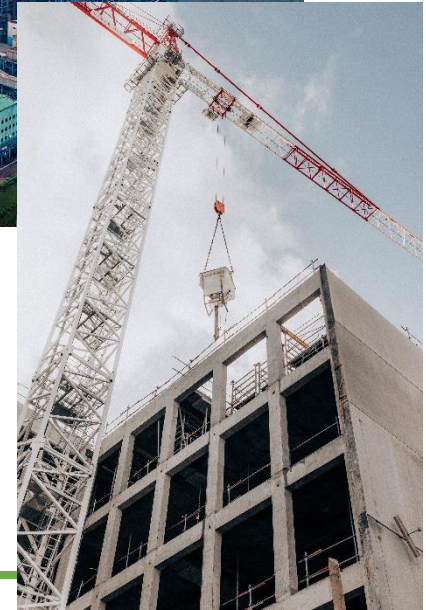
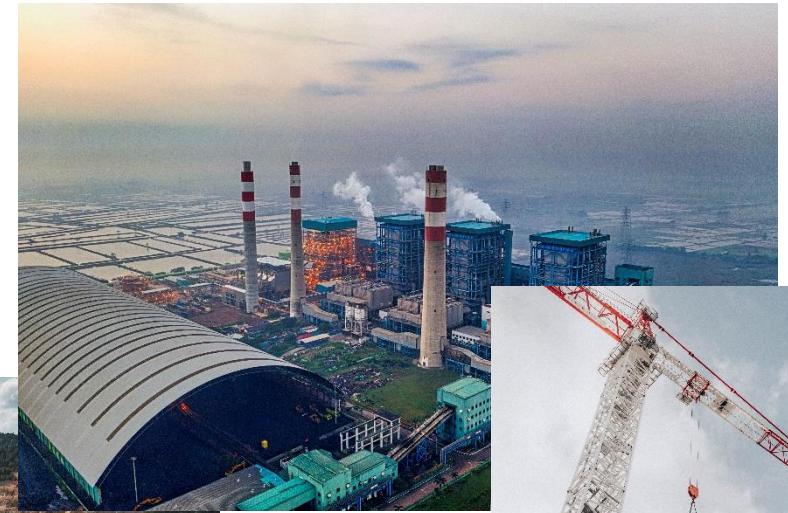
Ezenkwu, C. P., & Starkey, A. (2019, July). **Machine autonomy: Definition, approaches, challenges and research gaps**. In *Intelligent Computing-Proceedings of the Computing Conference* (pp. 335-358). Springer, Cham.

Incremento en la capacidad de autonomía de robots móviles

□ Atributos de la autonomía de los robots:

1. Independencia del dominio:

- No requieren de conocimiento ontológico
- Enfoque tradicional (explicar todos los problemas) limitado



LUIS A. LIVIMII

3 de mayo de 2022

□ Atributos de la autonomía de los robots:

1. Independencia del dominio:

- Método de estimación monocular
- Conjuntos de datos sintéticos
- Modelo generalizable

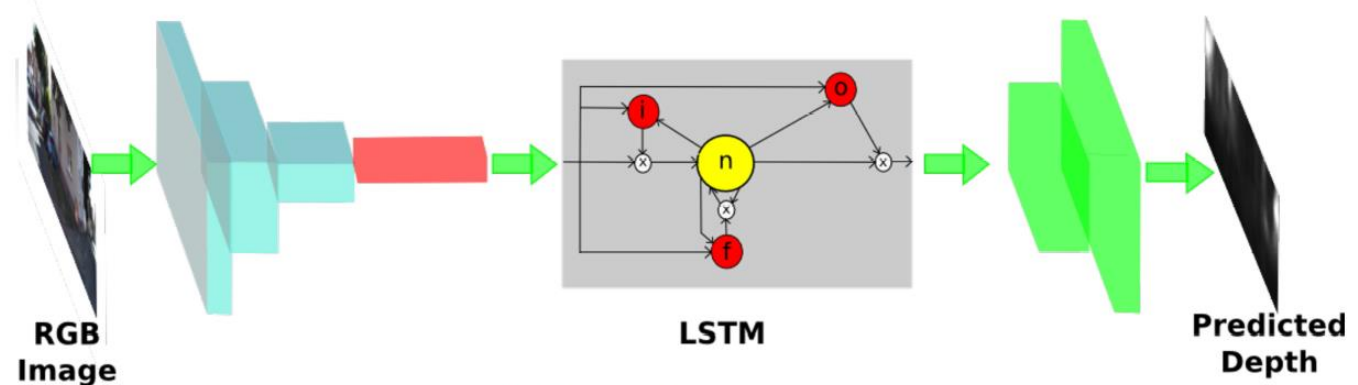


Fig. 3: In our LSTM network, we plug in two LSTM layers with 180 neurons between the encoder and the decoder section of the network.

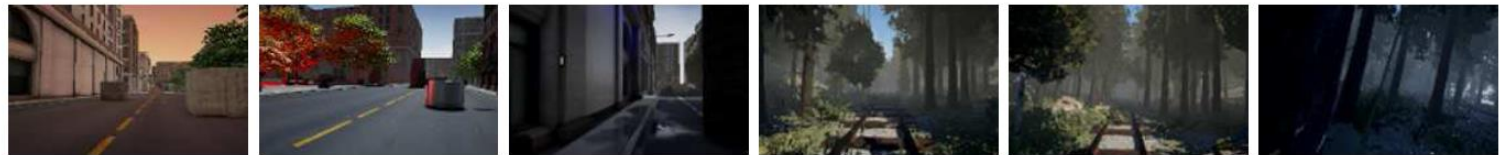


Fig. 4: Some images from UVD and FVD dataset used for training the models.

Mancini, M. et al. (2017). ***Toward domain independence for learning-based monocular depth estimation.*** *IEEE Robotics and Automation Letters*, 2(3), 1778-1785.

Incremento en la capacidad de autonomía de robots móviles

□ Atributos de la autonomía de los robots:

2. Automotivación:

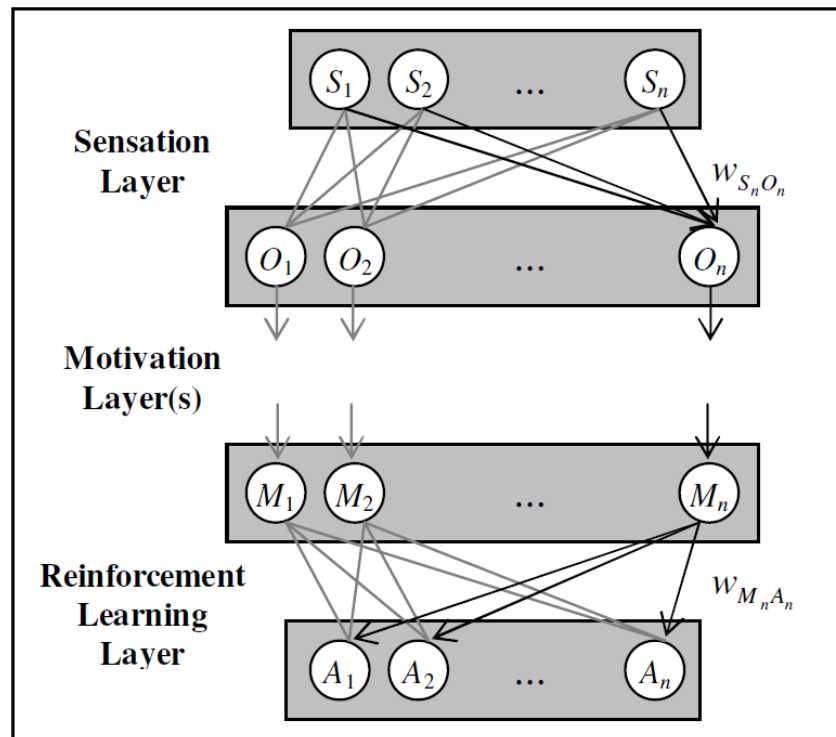


- Acción/aprendizaje está impulsado por la automotivación
- Propias representaciones y objetivos generados internamente del sistema

Incremento en la capacidad de autonomía de robots móviles

□ Atributos de la autonomía de los robots:

2. Automotivación:



Red neuronal integrada
Combina sistemas de valores cognitivos:

- *Novelty-Seeking Exploration*
- *Interest-Seeking Exploration*
- *Competence-Seeking Exploration*
- *Random Exploration*

Merrick, K. E. (2010). A comparative study of value systems for self-motivated exploration and learning by robots. *IEEE Transactions on Autonomous Mental Development*, 2(2), 119-131.

Incremento en la capacidad de autonomía de robots móviles

□ Atributos de la autonomía de los robots:

3. Auto identificación de objetivos:

Búsqueda y rescate



Inspección

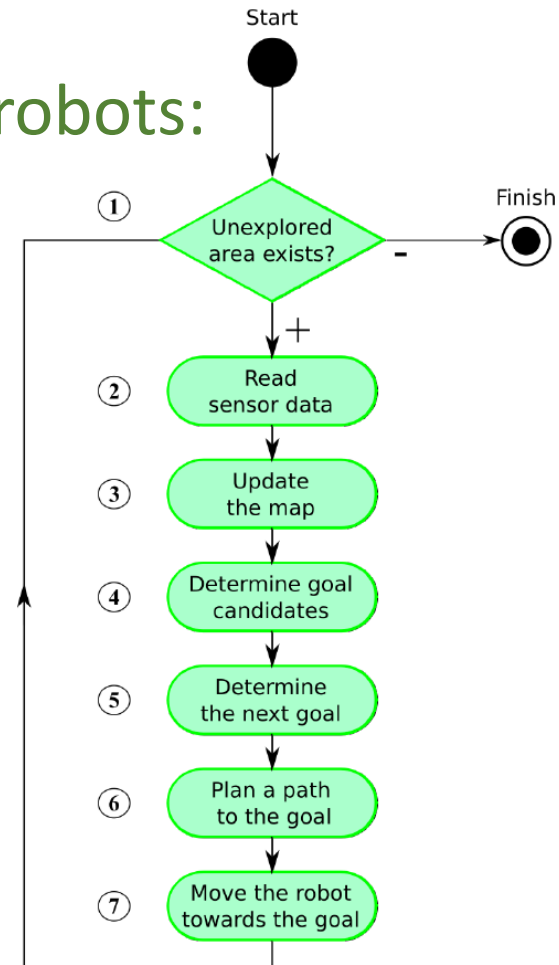
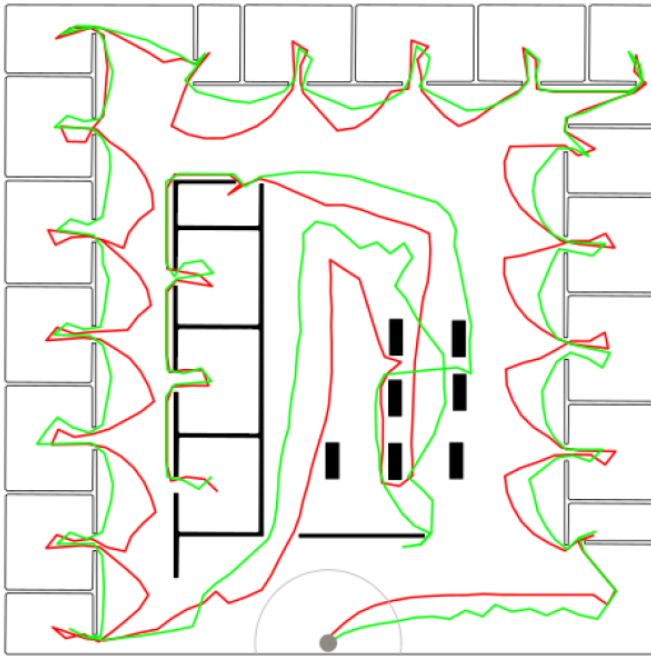


- Los robots orientados a objetivos
- Inicialmente codificados por el programador
- Fallará si este entorno no es predecible o no es conocido

Incremento en la capacidad de autonomía de robots móviles

□ Atributos de la autonomía de los robots:

3. Auto identificación de objetivos:



Es necesario no solo seleccionar el objetivo a lograr, sino también descubrirlos

Kulich, M., Kubalík, J., & Přeučil, L. (2019). An integrated approach to goal selection in mobile robot exploration. *Sensors*, 19(6), 1400.

Incremento en la capacidad de autonomía de robots móviles

□ Atributos de la autonomía de los robots:

4. Auto recuperación:

- ❖ Robots resistentes (*resilient robots*) -> daños físicos
 - Un robot debe diseñarse con redundancia de funciones
 - La estructura de un robot resistente debe seguir una arquitectura modular

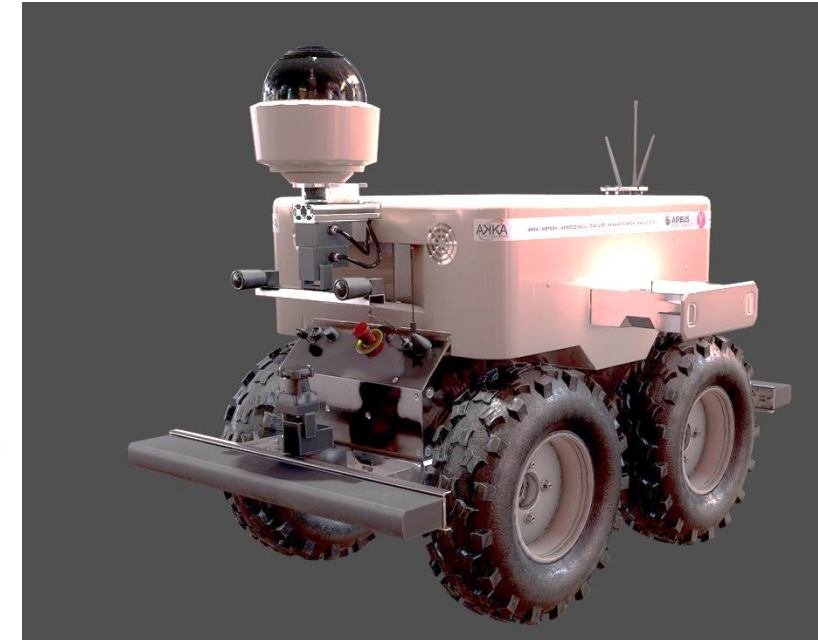
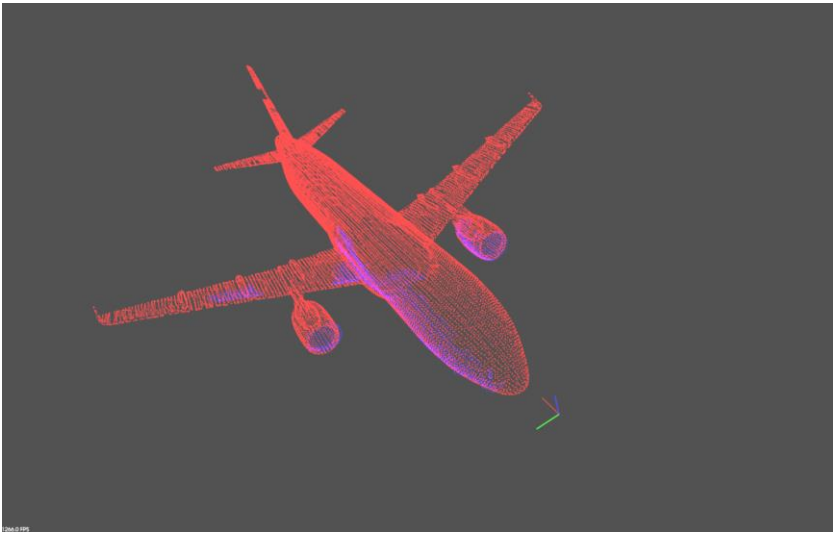
Zhang, T., Zhang, W., & Gupta, M. M. (2017). Resilient robots: concept, review, and future directions. Robotics, 6(4), 22.

- ❖ Pérdida en la localización (*localization loss*) -> entornos interiores

Incremento en la capacidad de autonomía de robots móviles

□ Atributos de la autonomía de los robots:

4. Auto recuperación:

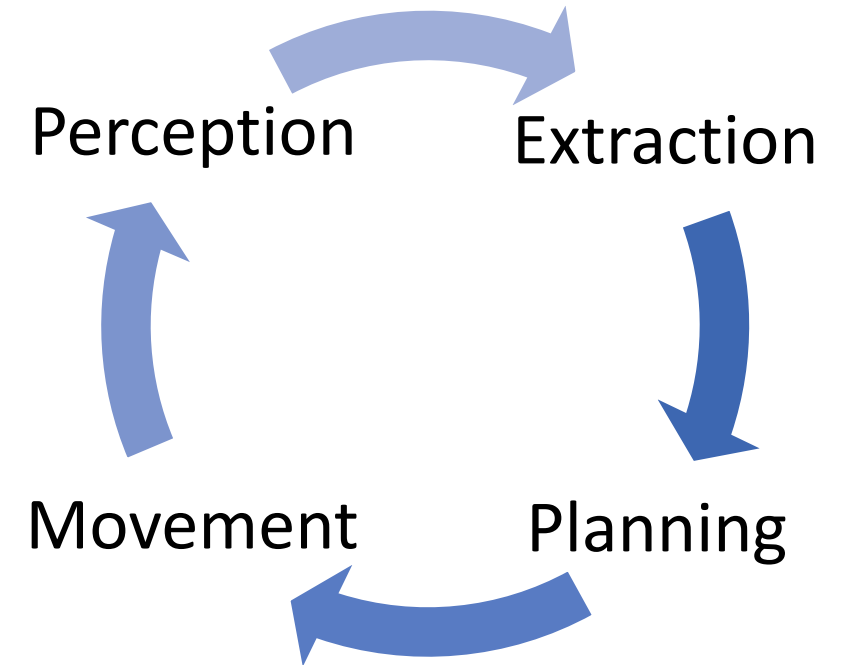
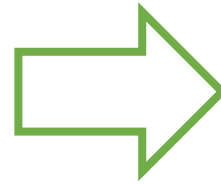
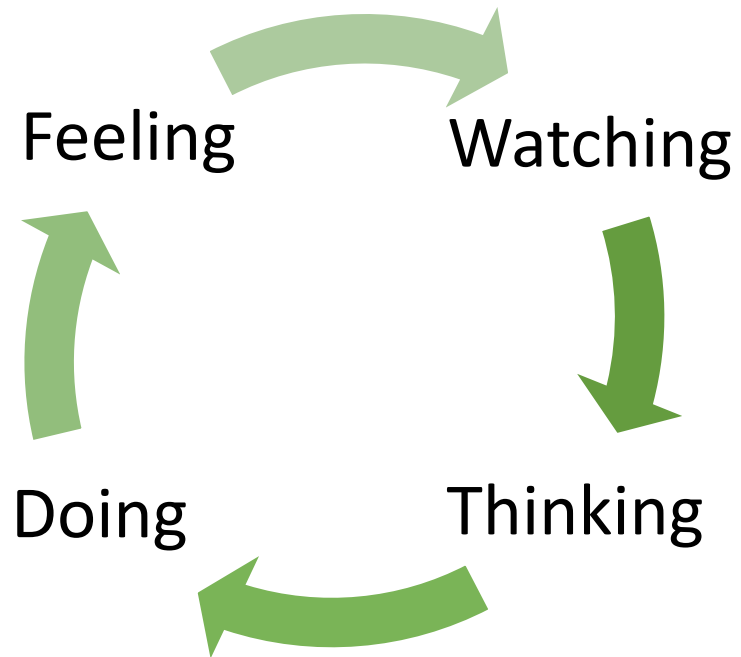


Futterlieb, Marcus. Vision based navigation in a dynamic environment. Diss. Université Paul Sabatier-Toulouse III, 2017.

Incremento en la capacidad de autonomía de robots móviles

□ Atributos de la autonomía de los robots:

5. Auto aprendizaje:

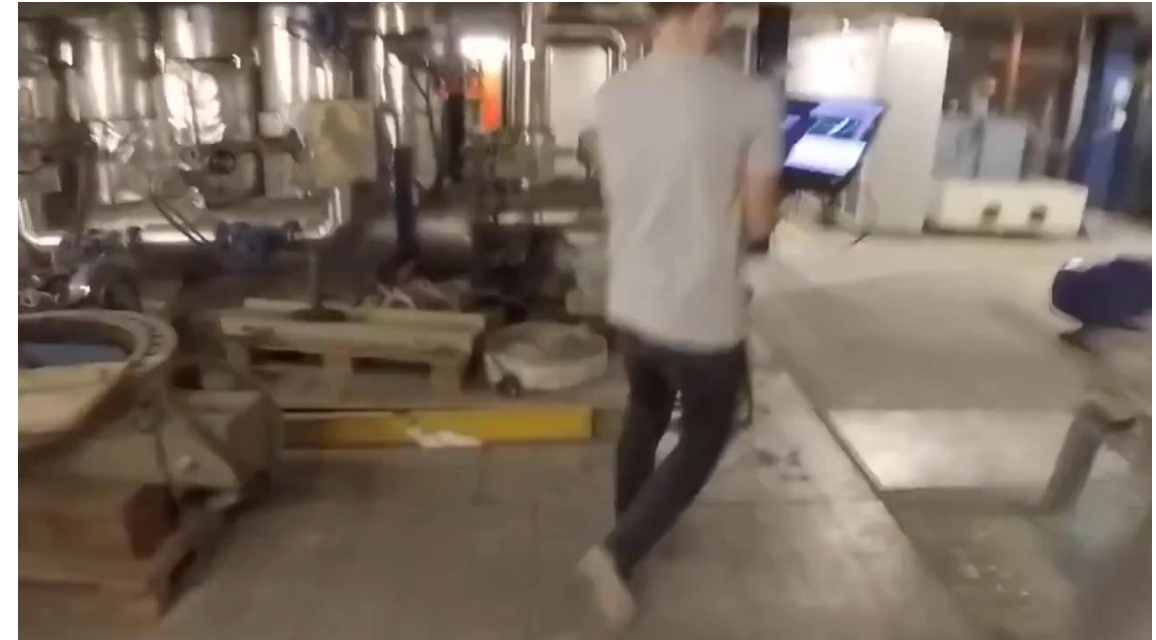
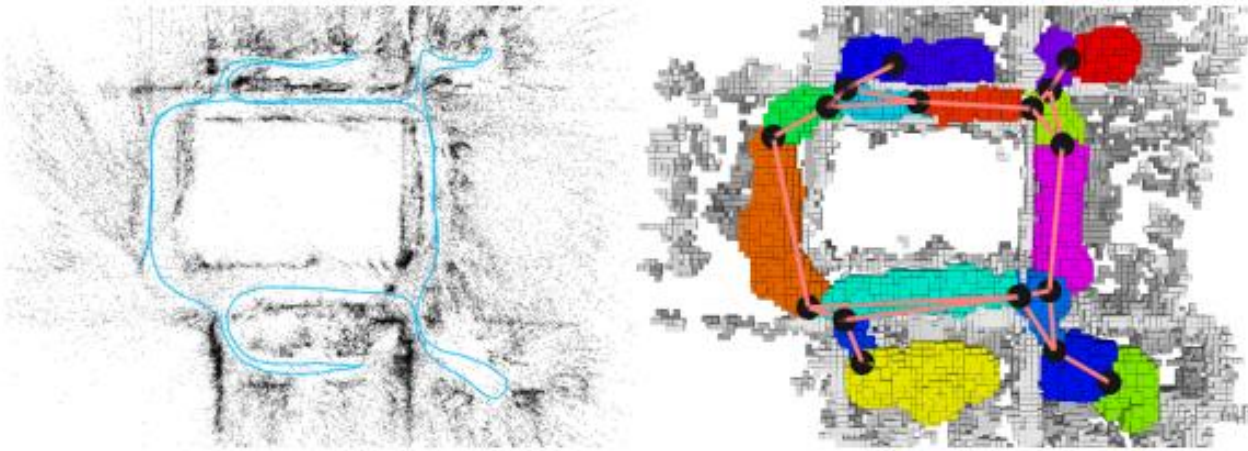


Incremento en la capacidad de autonomía de robots móviles

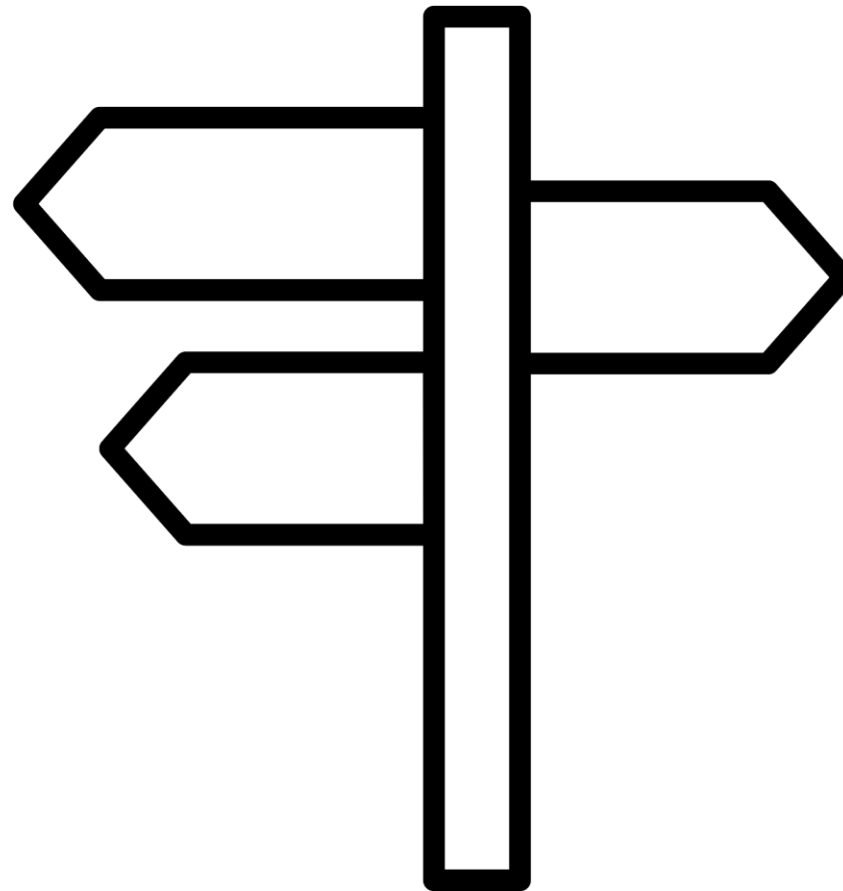
❑ Atributos de la autonomía de los robots:

5. Auto aprendizaje:

<https://www.youtube.com/watch?v=UokjxSLTcd0>



Blochliger, F., et al. (2018). Topomap: Topological mapping and navigation based on visual slam maps. In 2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) (pp. 3818-3825). IEEE.



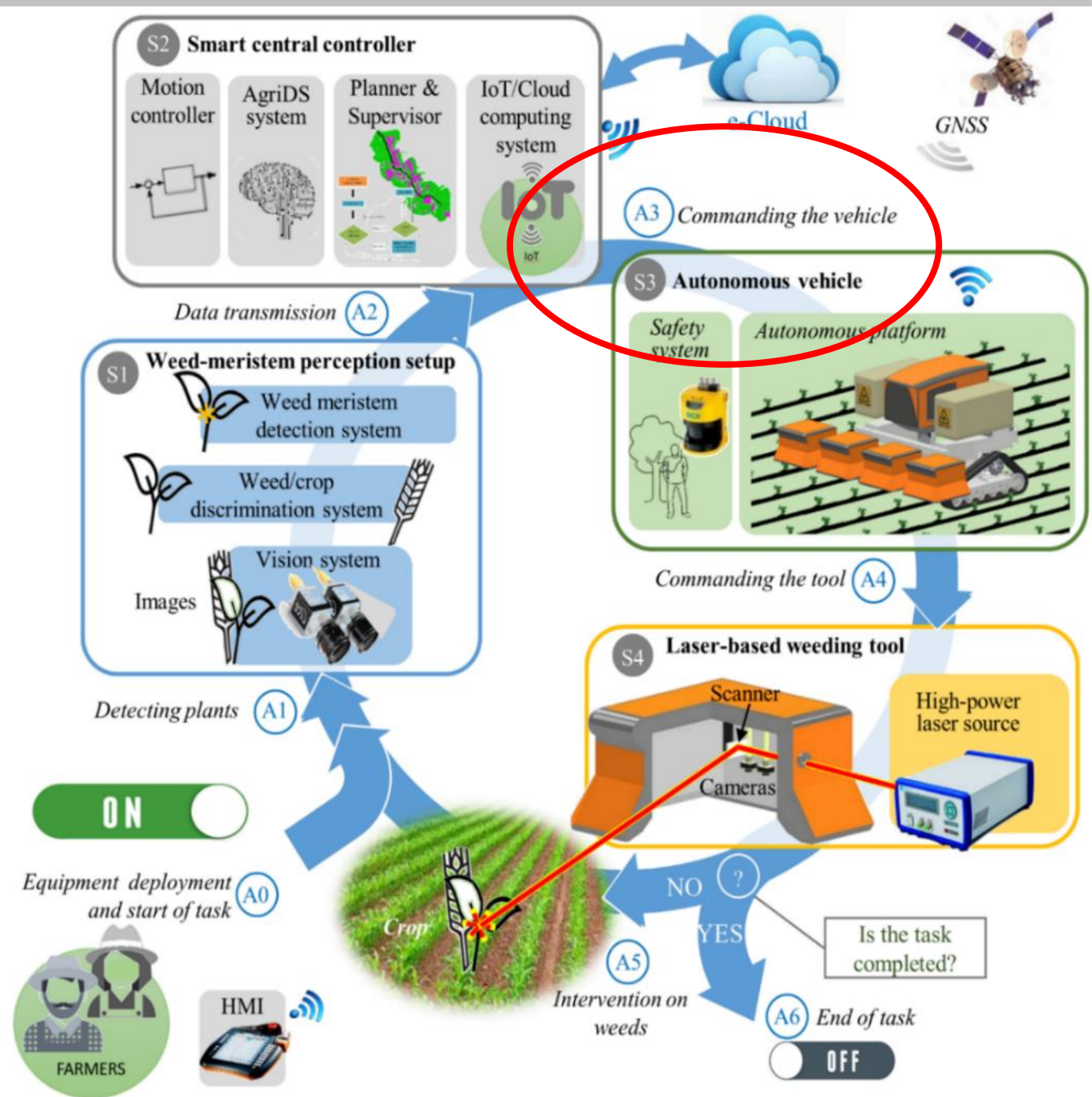
Descripción del proyecto

- ❑ Sustainable Weed Management in Agriculture with Laser-based Autonomous Tools (WeLASER), H2020 101000256, 2020-2023

3 Proyecto WeLASER

Descripción del p

❑ Sustainable Weed Manager Autonomous Tools (WeLASER)

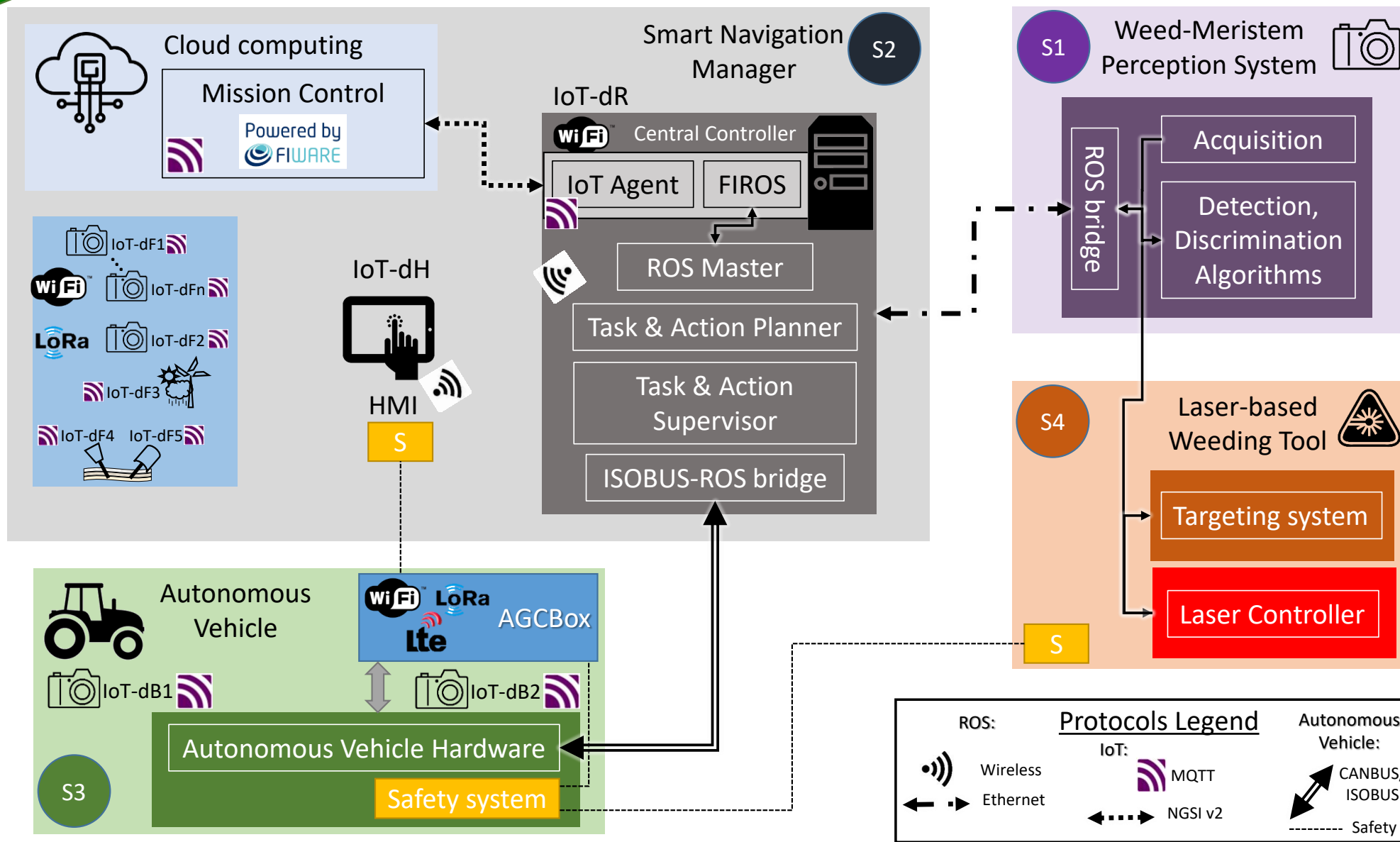


Descripción del proyecto

- ❑ Sustainable Weed Management in Agriculture with Laser-based Autonomous Tools (WeLASER), H2020 101000256, 2020-2023



Descripción del proyecto

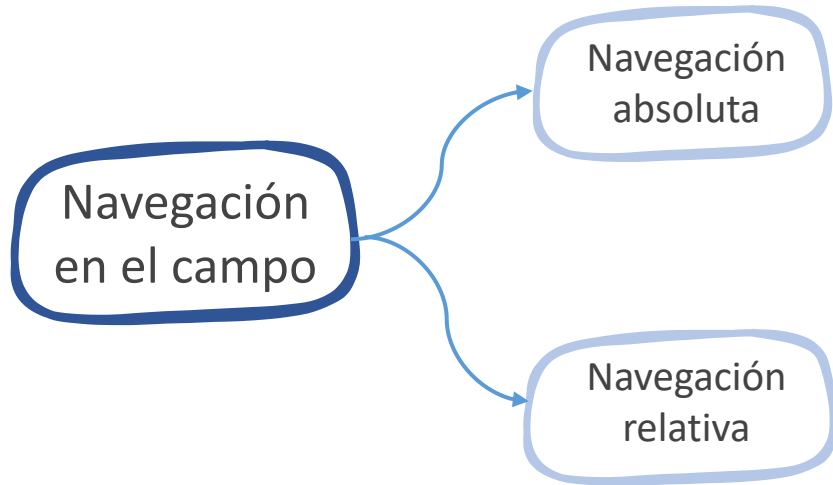


Estrategias de navegación

□ Navegación en el campo

- Entorno desestructurado, cambiante y diverso.
- Condiciones meteorológicas, luminosidad
- Diferentes etapas de crecimiento del cultivo (Etapas tempranas)
- Presencia de malas hierbas

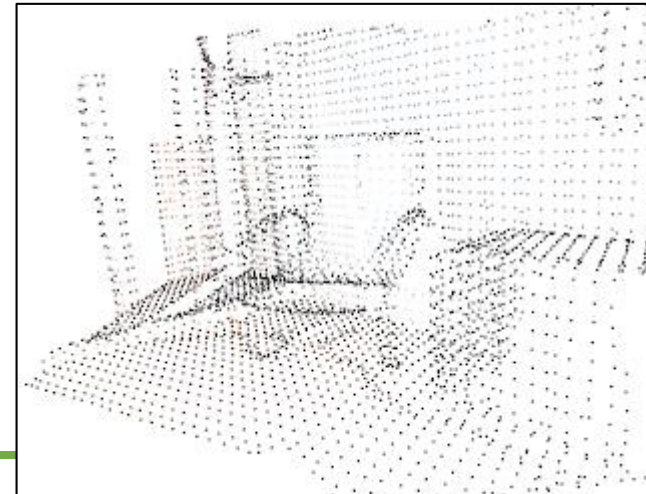
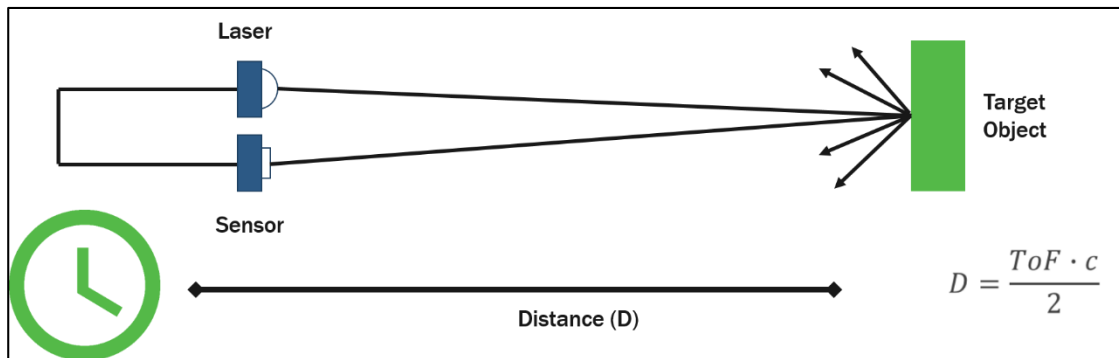
Estrategias de navegación



- GNSS

Sistemas de percepción:

- LIDAR
- Cámaras RGB
- Cámaras Time-of-flight (ToF)



Estrategias de navegación

Identificación
cultivo/mala
hierba

Métodos
convencionales

Inteligencia Artificial
(Deep learning)

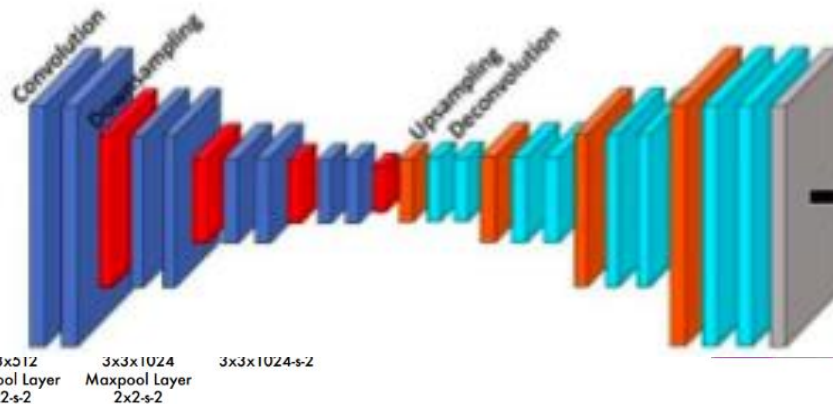
Greenness identification, Otsu threshold, Hough transform

- Robusto
- Extracción de características de recorte
- Condiciones de luminosidad
- Datos para entrenar

Cultivos de hileras anchas

Cultivos de hileras estrechas

Detección de objetos



Estrategias de navegación



Estrategias de navegación





Estrategias de navegación

Etiquetado

N=50



Estrategias de navegación

Etiquetado

N=50



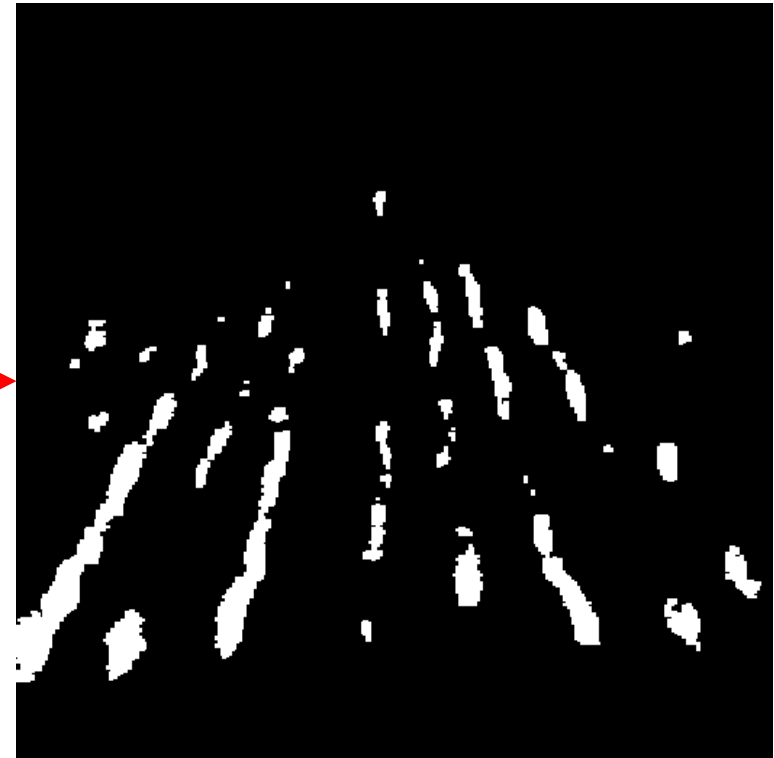
Estrategias de navegación

□ Segmentación RGB



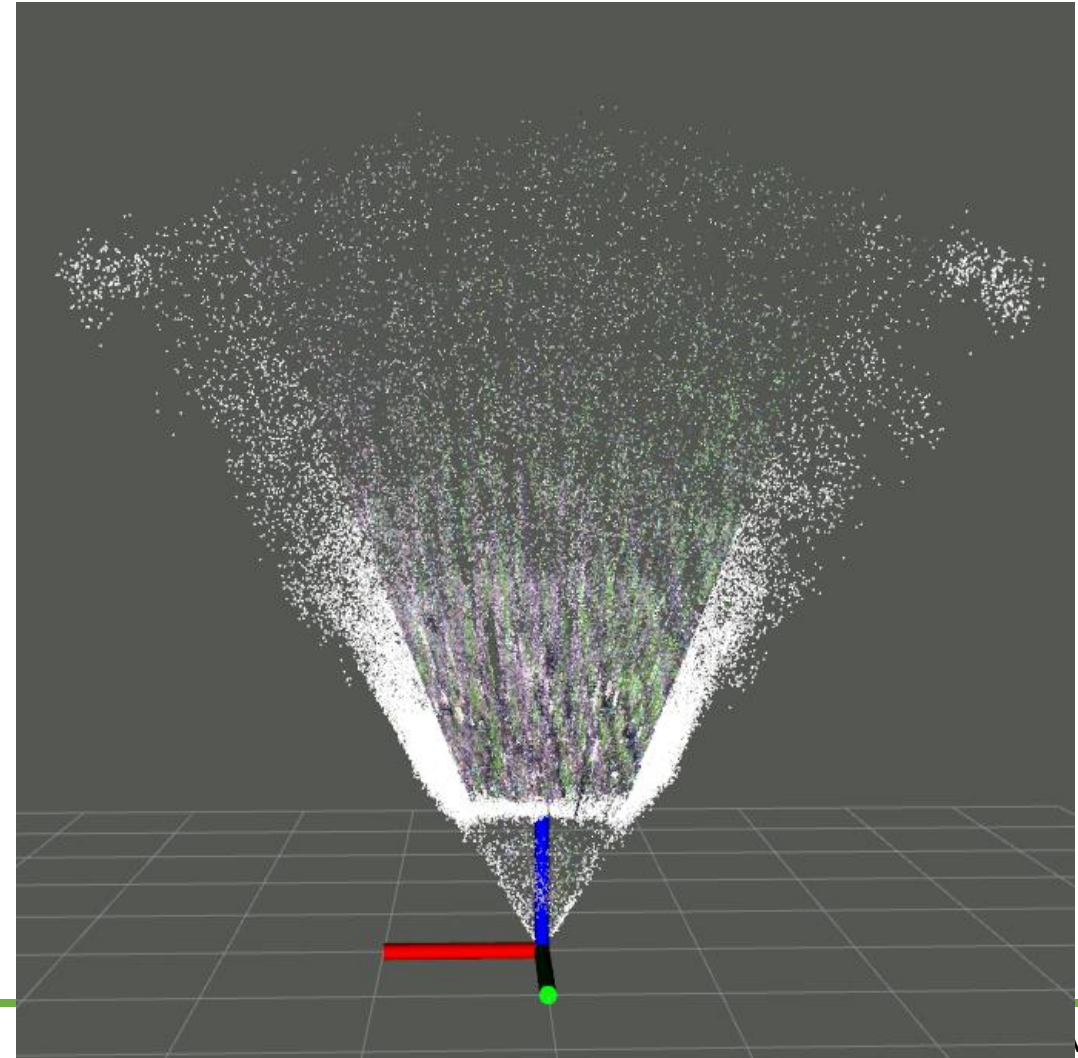
Segmentación
mAP 80%

SegNet
U-Net
MobileNets



Estrategias de navegación

□ Segmentación RGB



□ Detección de objetos



Object detection

YOLOv4

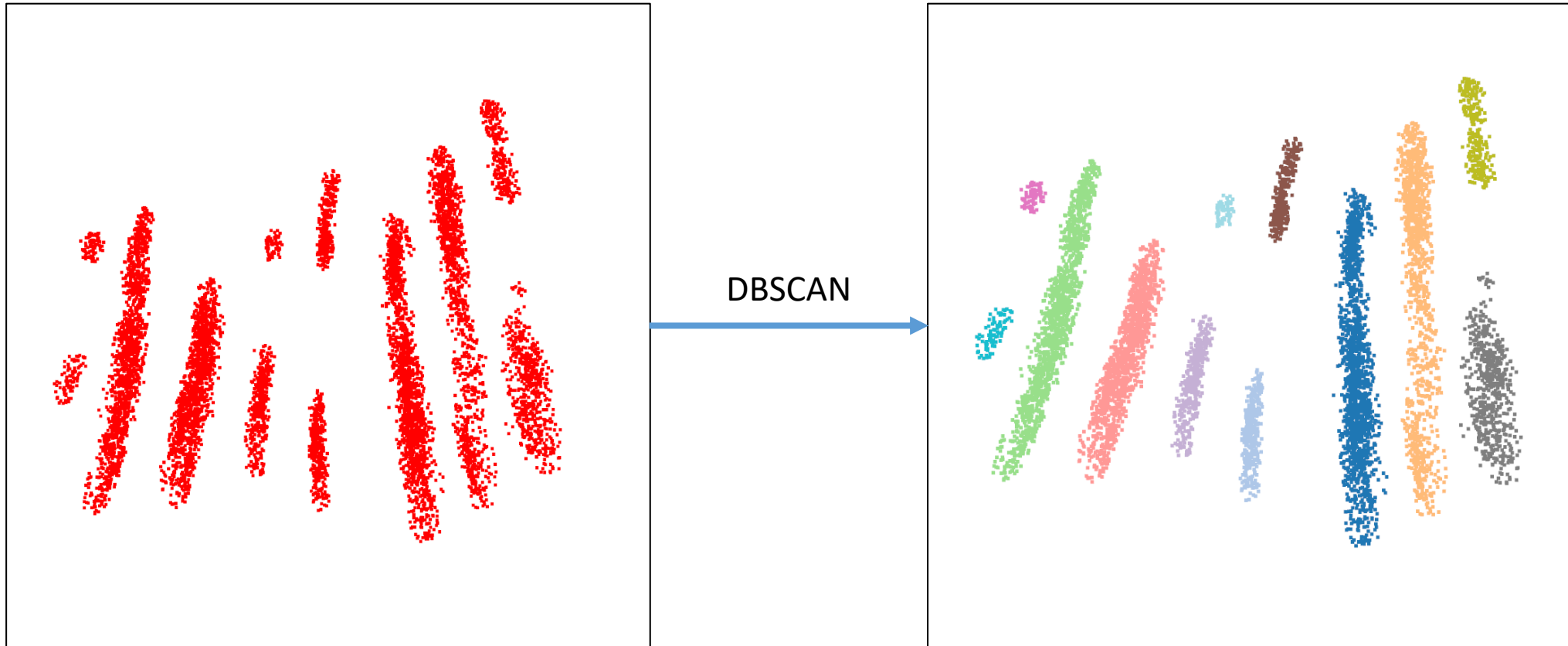


Estrategias de navegación

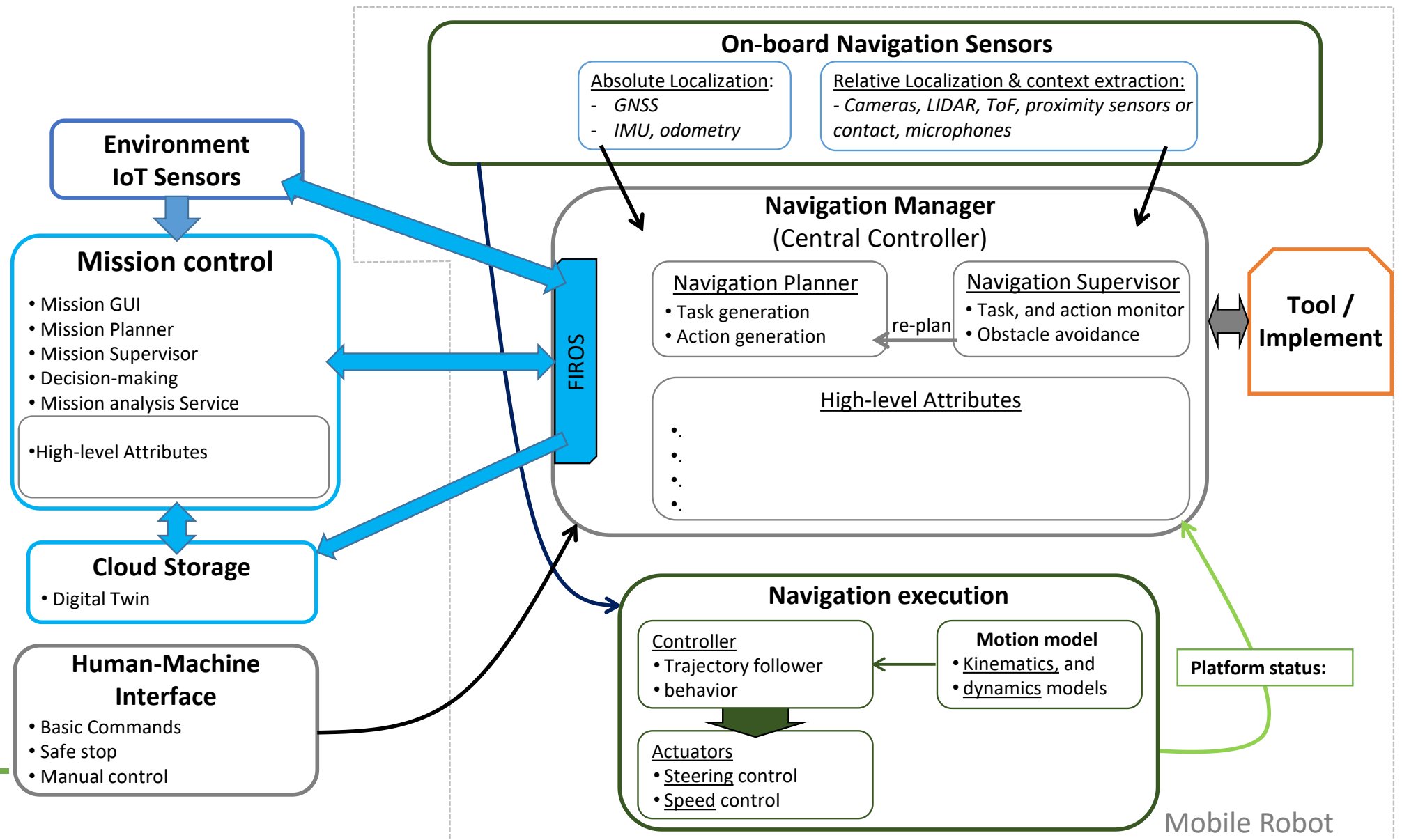
□ Detección de objetos



Clusterización



Marco General de Navegación



4 Oportunidades

Grupo de Robótica de Exteriores y de Servicios

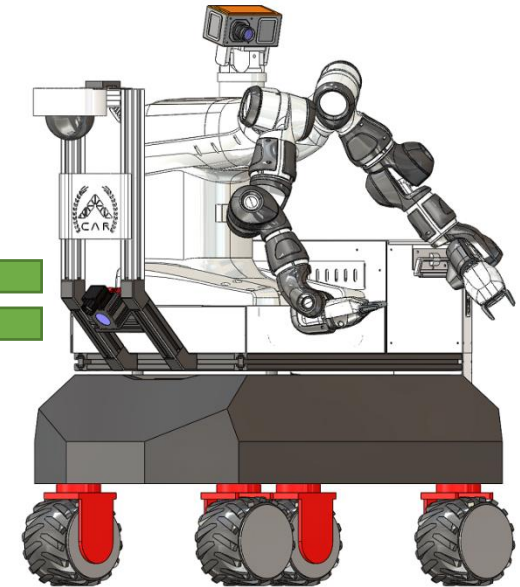
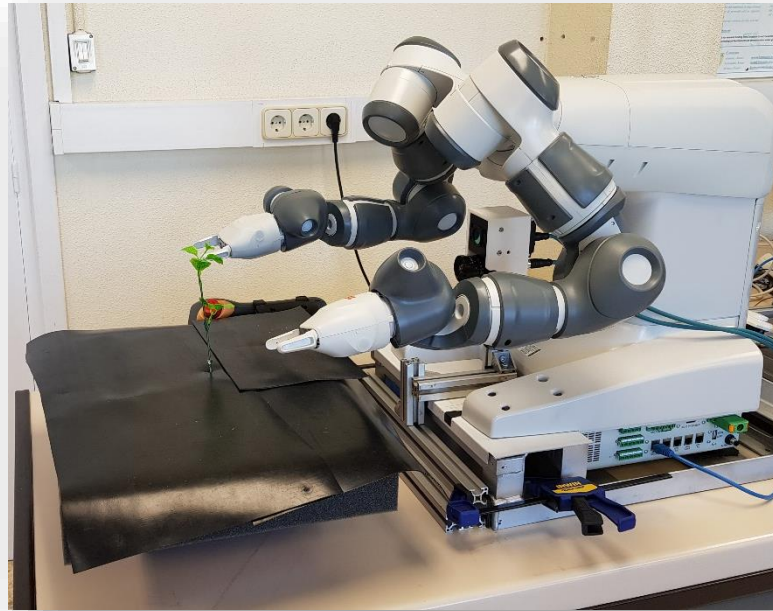
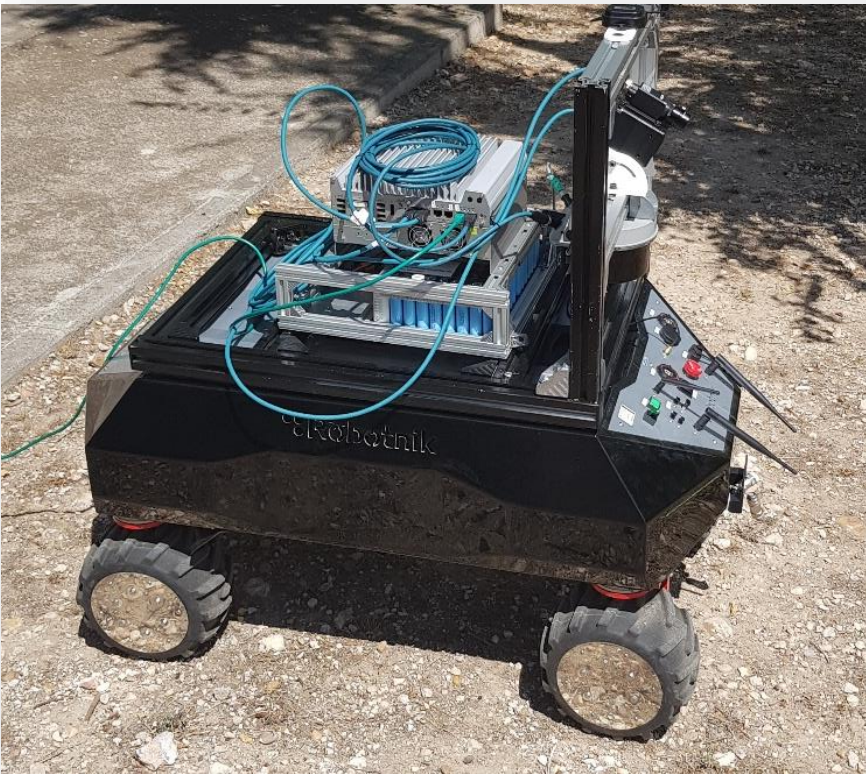
□ Proyecto WeLASER



4 Oportunidades

Grupo de Robótica de Exteriores y de Servicios

❑ Intelligent Mobile Manipulation Robotic Lab (i-MMR Lab)



4 Oportunidades

Grupo de Robótica de Exteriores y de Servicios



Luis A. EMMI
de mayo de 2022

4 Oportunidades

Grupo de Robótica de Exteriores y de Servicios

- ☐ Desarrollo de TFGs y TFMs
- ☐ Desarrollo de Tesis Doctorales
- ☐ Plazas para el desarrollo de proyectos de investigación

□ Desarrollo de TFGs y TFMs

- ❖ Mejora de las capacidades de navegación para un robot móvil
 - Seguimiento de personas
 - Seguimiento de diferentes caminos (de tierra, asfalto, etc.)
 - Identificación semántica del entorno
 - Identificación del tipo de terreno transitado
- ❖ Interfaz Gráfica para robot móvil en entornos abiertos
- ❖ Sistema IoT para monitorización de operario en el campo



□ Desarrollo de Tesis Doctorales

- ❖ Independencia del dominio
- ❖ Automotivación
- ❖ Auto identificación de objetivos
- ❖ Auto recuperación
- ❖ Auto aprendizaje



Estrategias de navegación para robótica móvil de campo: caso de estudio proyecto WeLASER

Dr. Luis EMMI

Investigador Postdoctoral

Centro de Automática y Robótica (UPM-CSIC)

luis.emmi@car.upm-csic.es

