

# Retos de la robótica en entornos desafiantes

Luis Montano Gella

Grupo de Robótica, Percepción y tiempo real  
Universidad de Zaragoza

Seminario UNED 17/4/2018

# ÍNDICE

1. El Grupo de Robótica, Percepción y Tiempo real
2. Retos de la robótica
3. Navegación en entornos estáticos y dinámicos
4. Navegación y localización en entornos poco estructurados u hostiles
5. Conclusiones

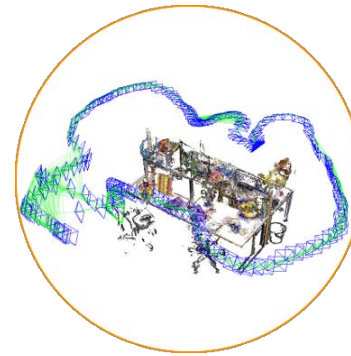
# 1. El Grupo de Robótica, Percepción y Tiempo real

- Grupo pertenece al Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A): 300 doctores y 250 asociados (contratados proyectos, predoctorales)
- Grupo: 42 miembros investigadores (21 doctores, 21 doctorandos)
- 6 líneas de investigación
- Actividad investigadora en los últimos 3 años:
  - 53 proyectos europeos y nacionales (39 investigación, 14 transferencia)
  - 79 revistas (73 indexadas)
  - 119 congresos y conferencias
  - 12 libros o capítulos en libro
- <http://robots.unizar.es>

# Proyectos 2017-2019

## Navegación autónoma de robots en entornos desafiantes

- Confinados, hostiles (galerías, túneles)
- Multi-robot
- Sin comunicaciones, dinámicos



## Exploración robótica activa en entornos 3D densos

- Sensores heterogéneos
- Reconstrucciones densas
- Exploración-explotación

## Localización y construcción de mapas mediante visión (V-SLAM)

- SLAM visual
- Técnicas robustas en tiempo real
- Dispositivos comerciales

# Proyectos 2017-2019

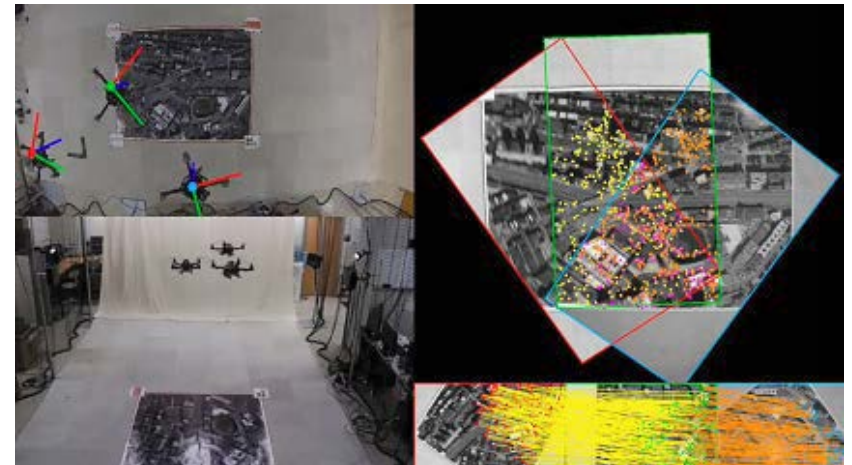
## Visión por computador egocéntrica para asistencia personal

- Dispositivos vestibles
- Ayuda a personas con visión reducida
- Prótesis visuales



## Coordinación y Visión Distribuida de Sistemas Multi-robot para Exploración Remota

- Integración de múltiples vistas
- Técnicas de consenso
- Exploración y monitorización



## 2. Retos de la Robótica

1. **Autolocalización:** SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) en escenarios interiores con poca textura, mala iluminación, ...
2. **Navegación:** terreno *irregular* (baches, rampas, ...)
3. **Navegación:** escenarios *dinámicos* (modelos diferentes que para estáticos)
4. **Interpretación** del entorno: SLAM no incluye *semántica* del escenario
5. **Planificación-localización-navegación** basada en mapas *topológico-semánticos*

# Vehículos autónomos



- Planificación óptima de ruta
- Navegación siguiendo plan
  - Evitación obstáculos
- Localización
  - GPS, escenario texturado
- Interpretación del entorno
  - Señales tráfico
  - Personas, animales, vehículos
  - Obstáculos estáticos y dinámicos
  - Prioridades (normas tráfico)
  - Comunicaciones
    - otros vehículos
    - infraestructura
  - Seguridad/legislación

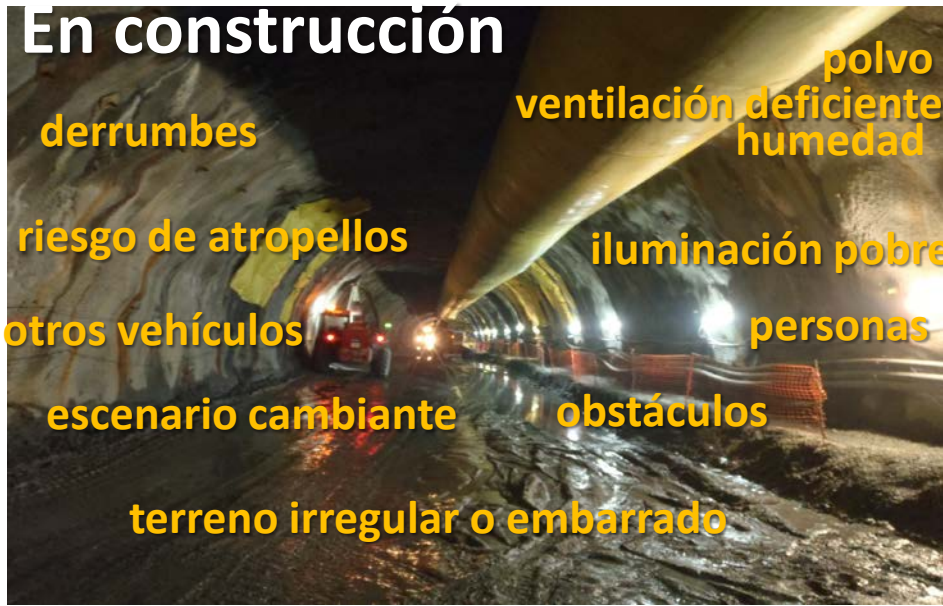


# Robots en escenario confinado, hostil

## Túnel construido



## En construcción



- Planificación óptima de ruta
- Navegación siguiendo plan
  - Evitación obstáculos, terreno
  - Circulación no organizada
- Localización
  - No GPS, escenario no texturado, iluminación: difícil localización continua
  - Características reconocibles (p.e.galerías laterales)
  - Señal de comunicación
- Interpretación del entorno
  - Personas, vehículos
  - Obstáculos, rampas, agujeros
- Seguridad/legislación

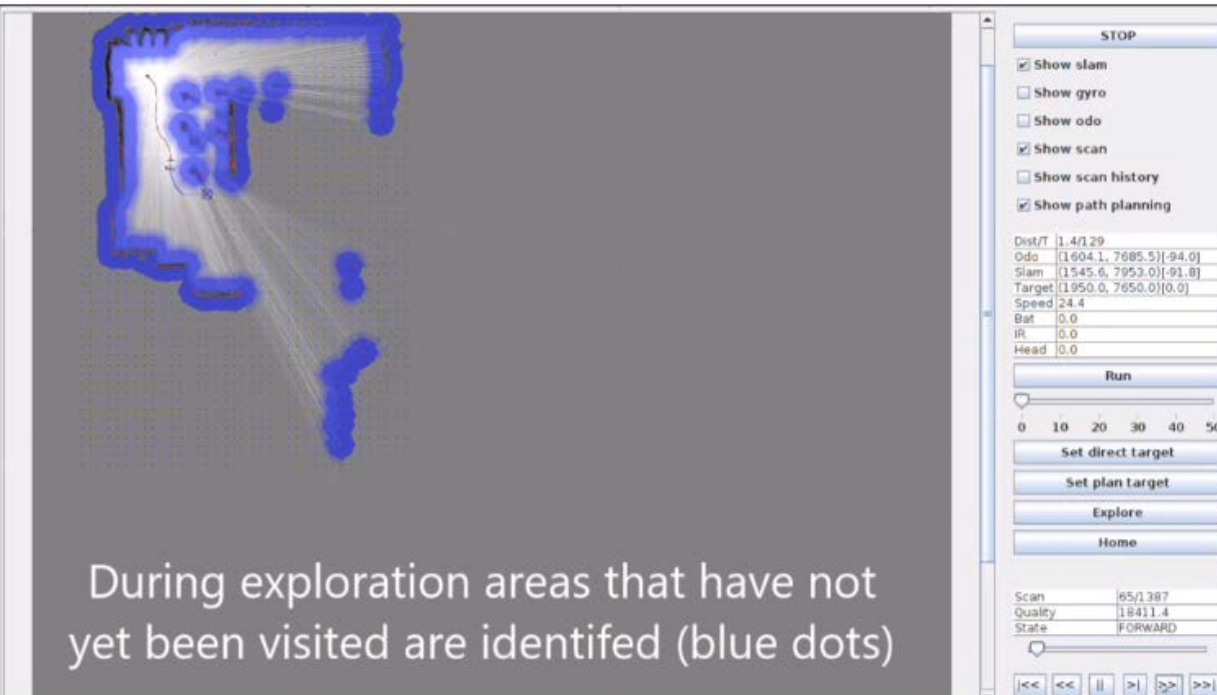


# Robots en escenario denso, muy dinámico



- Planificación en escenario dinámico ( $\neq$  plan en estático)
- Navegación en entorno muy cambiante: plan cambia
- Localización
  - No GPS, escenario con pocas características estáticas, ocluidas
  - Obstáculos móviles la dificultan
- Seguridad/legislación

# Navegación en escenario estático: planificación en espacio de trabajo (2D-3D)



- *Path planning:*
  - Algoritmo A\* (búsqueda en grafo, camino óptimo)
  - Función de potencial (gradiente)
- El plan solo cambia
  - Nuevas áreas vistas
  - Cambia el objetivo

# Navegación en escenario dinámico híbrido: planificador-navegador integrados

## Mapas estático y dinámico



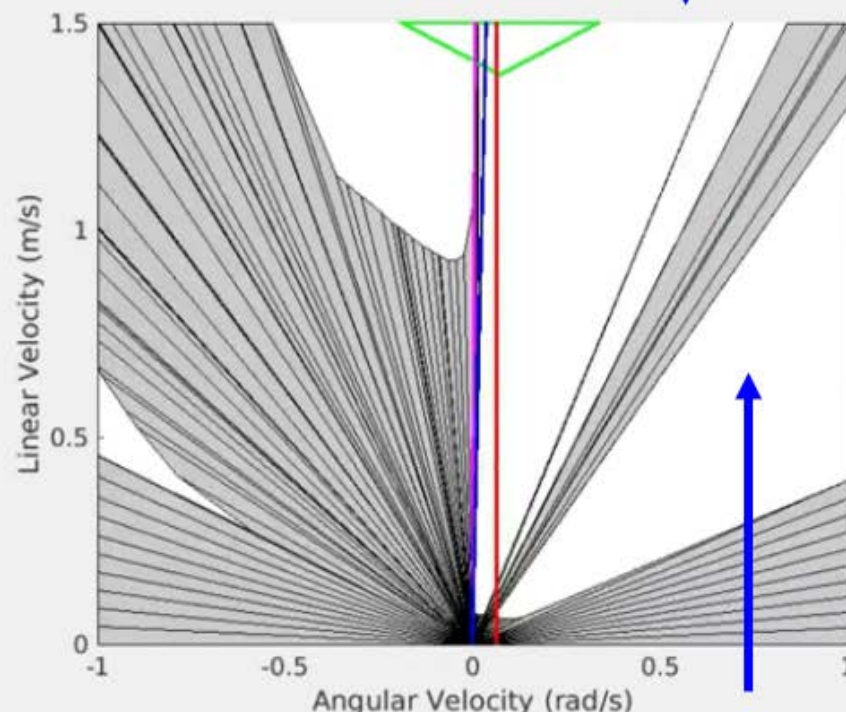
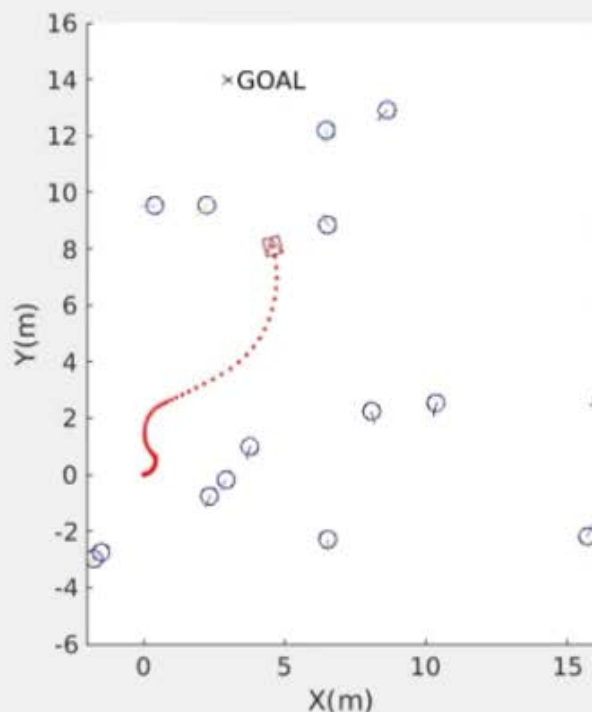
- Escenario dinámico
- Técnicas de navegación en estáticos: puramente reactivas
  - Técnicas específicas para dinámicos
  - Predicción de movimiento de obstáculos
- Segmentación estático/dinámico
- Localización con estático
- Navegación
  - Planificación con estático
  - Navegación con estático y dinámico

# Navegación en escenario dinámico planificación en espacio de velocidad

Obstáculos proyectados en espacio de velocidad

Linear: Occupancy 4%, Manoeuvrability reduction 40.12%

Obstacle velocity  $V_2$ :  $v = 0.5$ ,  $w = 0$ ; Máx. robot velocity: 1.5m/s



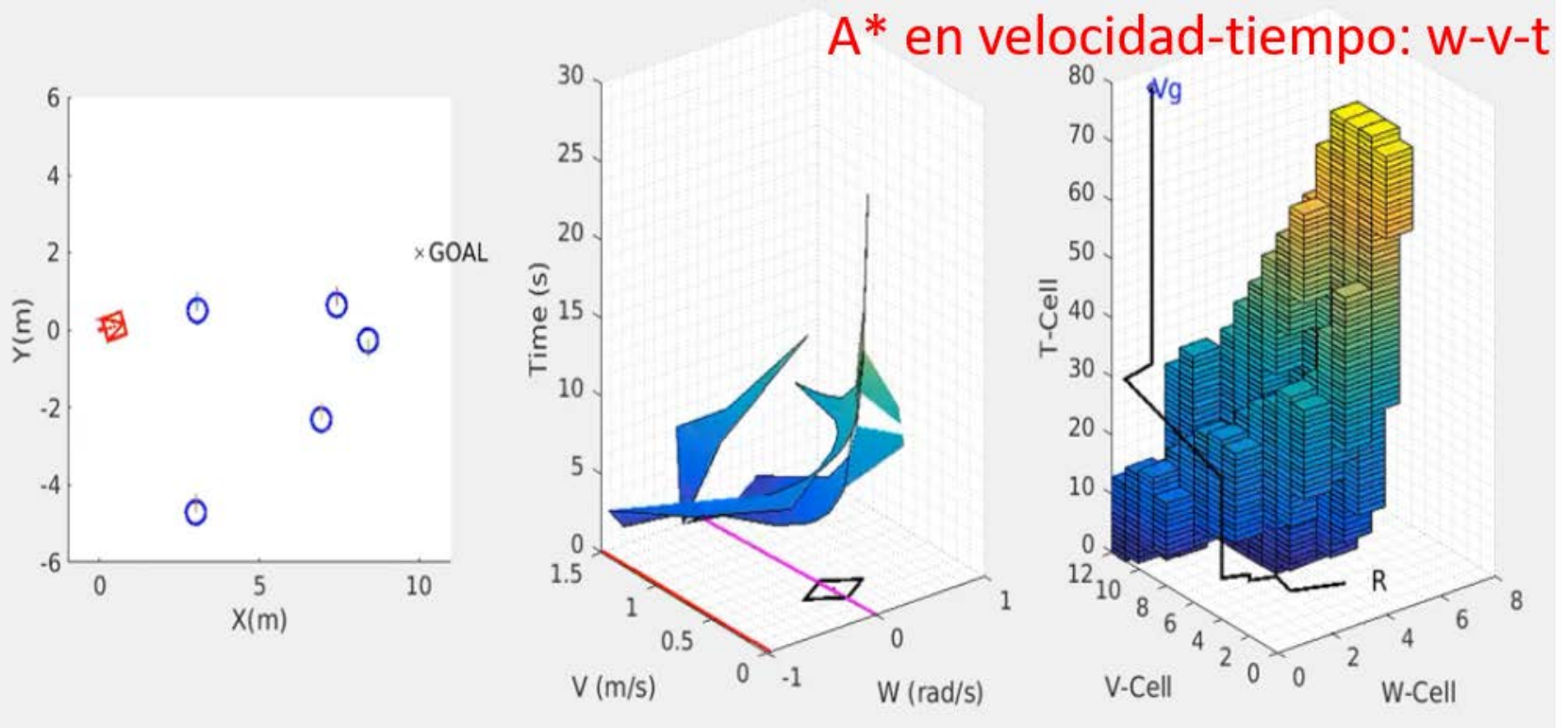
Búsqueda de solución en velocidades libres de colisión maximizando velocidad



# Navegación en escenario dinámico planificación en espacio de velocidad-tiempo

Razonar en velocidad-tiempo: más maniobrabilidad

Road-crossing: Occupancy 4.7%, Time-Aware strategy  
Obstacle velocity V1:  $v = 0.5$ ,  $w = 0$ ; Máx. robot velocity: 1.5m/s

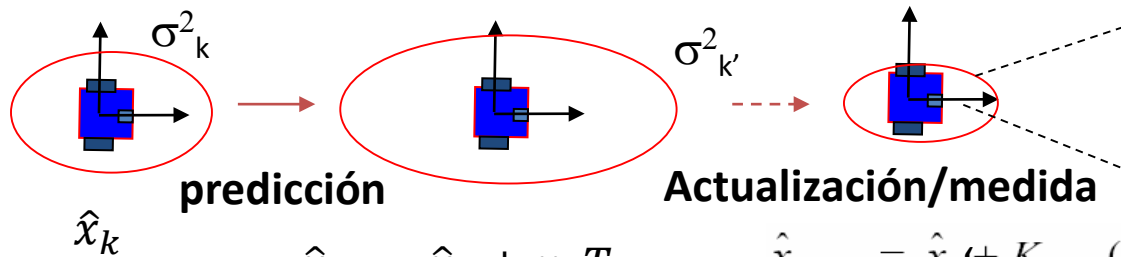


# Localización y construcción de mapas: modelos probabilistas

- **Filtro de Kalman Extendido (EKF): distribución gaussiana**

$x_R \sim N(\hat{x}_R, \hat{\sigma}_R^2)$  localización del robot

$x_F \sim N(\hat{x}_F, \hat{\sigma}_F^2)$  localización de las características (puntos, rectas)



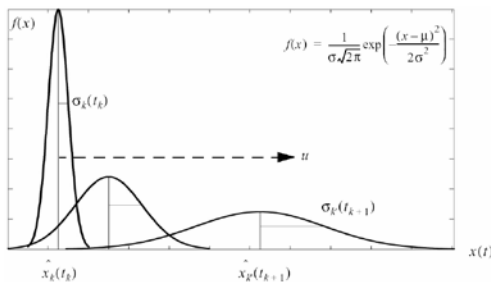
$$\hat{x}_{k'} = \hat{x}_k + v_k T$$

$$\sigma_{k'}^2 = \sigma_k^2 + \sigma_v^2 T$$

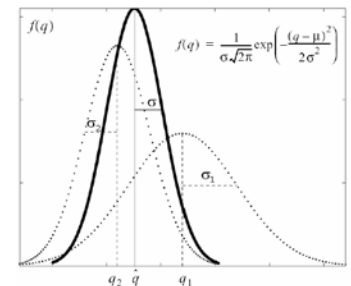
$$\hat{x}_{k+1} = \hat{x}_{k'} + K_{k+1} (z_{k+1} - \hat{x}_{k'})$$

$$\sigma_{k+1}^2 = \sigma_{k'}^2 - K_{k+1} \sigma_{k'}^2$$

$$K_{k+1} = \frac{\sigma_{k'}^2 \epsilon}{\sigma_{k'}^2 \epsilon + \sigma_z^2}$$



Aumenta incertidumbre



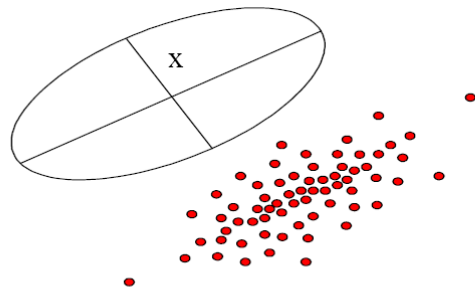
Reduce incertidumbre



# Localización y construcción de mapas: modelos probabilistas

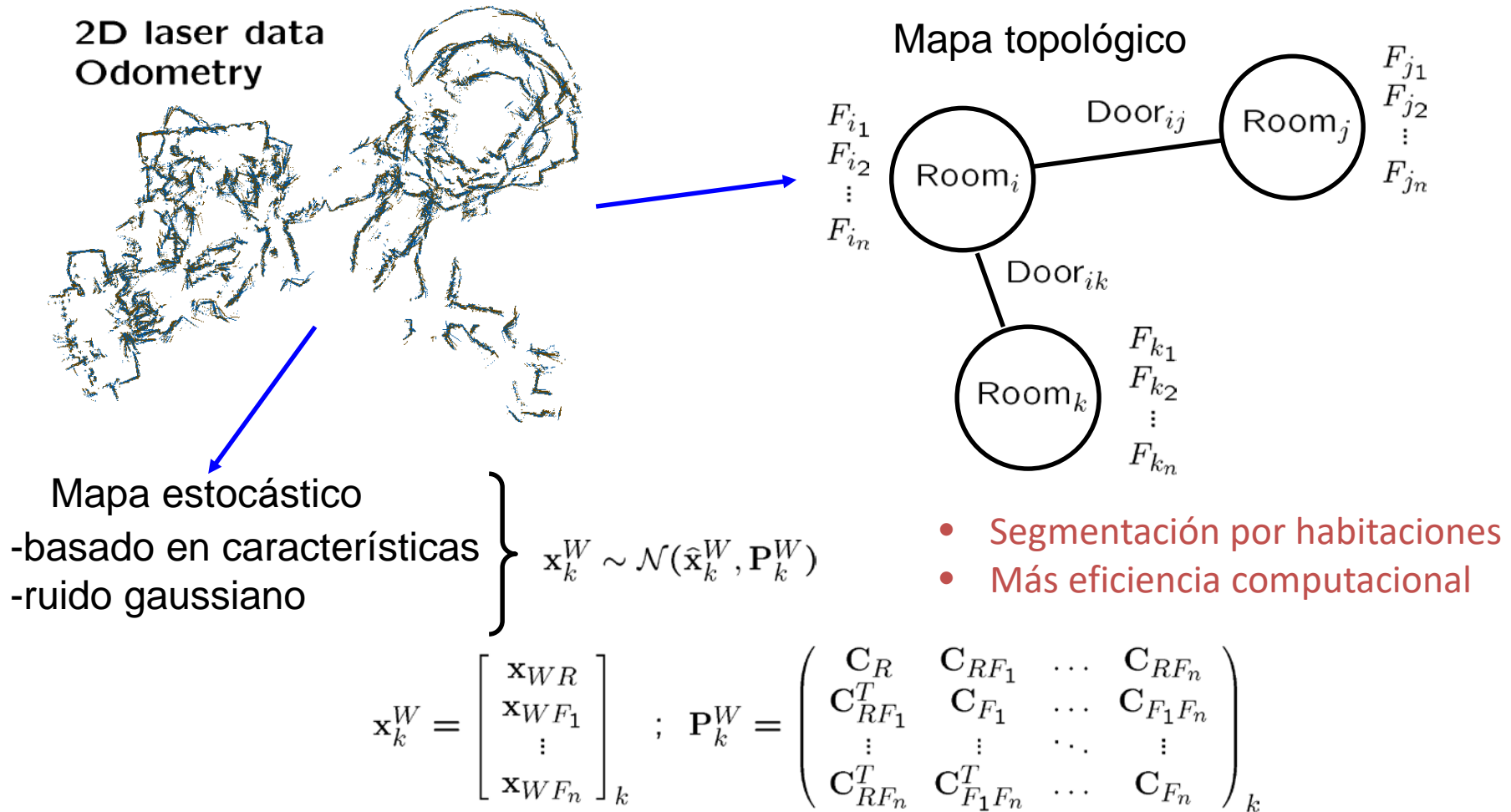
- **Filtro de partículas**

- Representación discretizada de incertidumbre
- Cada partícula representa una posible localización
- Pesos diferentes según probabilidad
- Cada partícula tiene asociado un mapa  
(visto desde esa localización)
- La distribución no tiene por qué ser gaussiana (como en EKF)



probability distribution (ellipse) as particle set (red dots)

# Localización y construcción de mapas: Filtro de Kalman Extendido (EKF): SLAM



# Navegación y localización en 3D

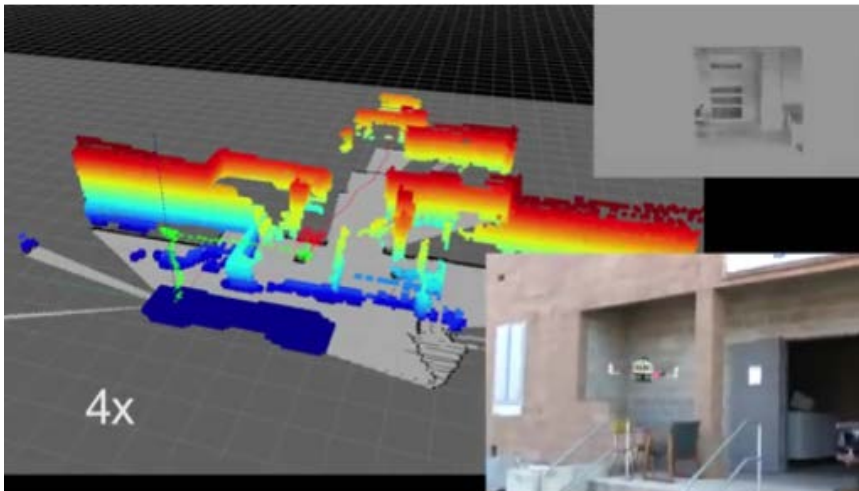


## Exterior

- Localización con GPS
- Planificación óptima de ruta
  - GPS
- Navegación siguiendo plan

## Interior

- Localización
  - IMU acumula error de posición
  - laser/visión/RGBD
  - Scan matching: corrección odometría
  - SLAM: construcción mapa
- Planificación óptima de ruta
  - Extensión de técnicas 2D a 3D



# Localización precisa en escenarios poblados y dinámicos



## Problema de localización y mapeo

- Técnicas de SLAM asumen escenas rígidas (estáticas)
- SLAM en escenarios dinámicos con cámara/robot fijos
- Partes dinámicas reducen la precisión

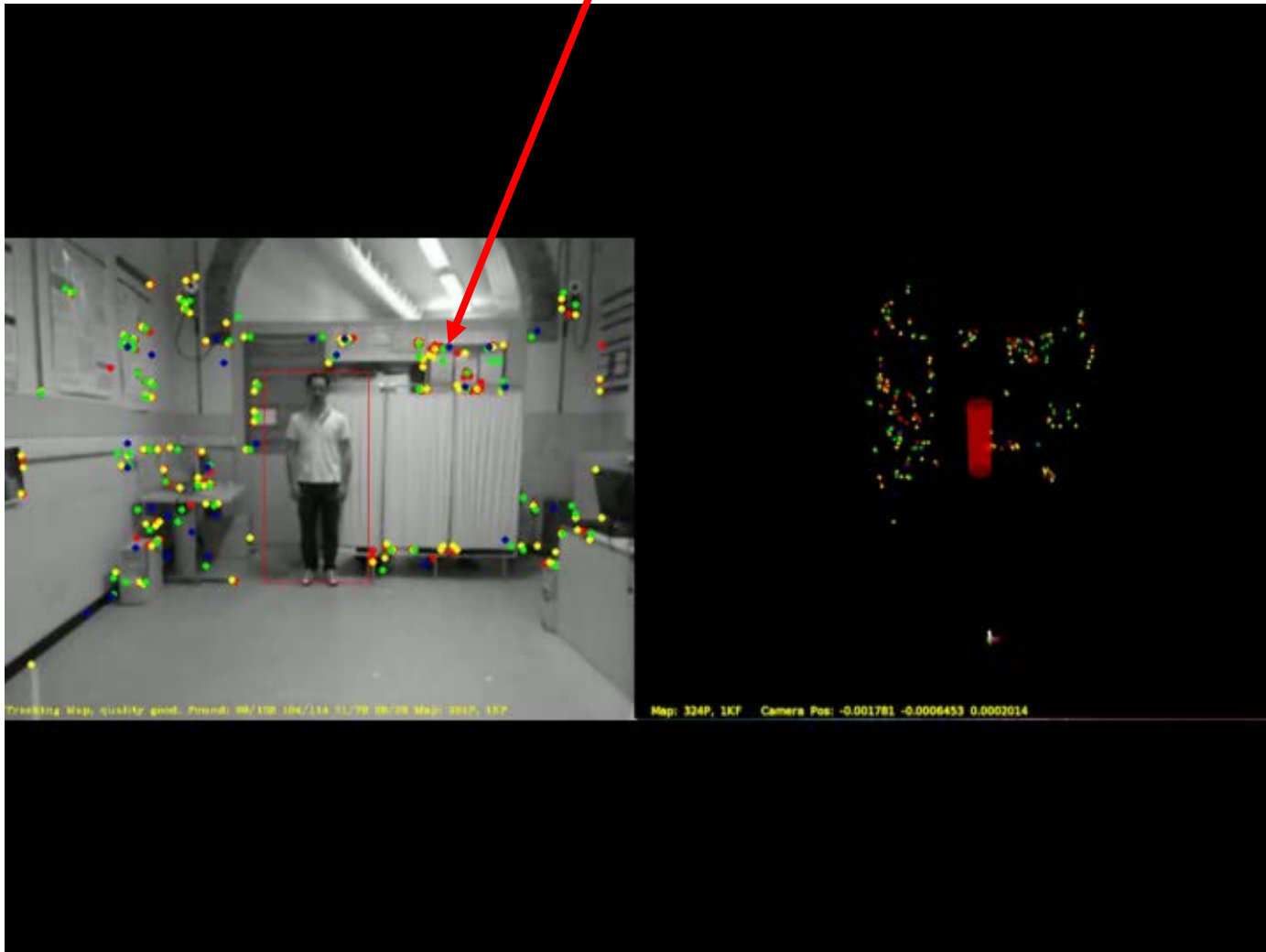
## Localización y mapeo con cámara/robot en movimiento

- Localización sólo con mapa estático: mapa global consistente
- *Tracking* de obstáculos móviles en mapa global: trayectorias
- Manejo de oclusiones: parte dinámica y ocluida no consideradas (enmascaradas)

Tracking

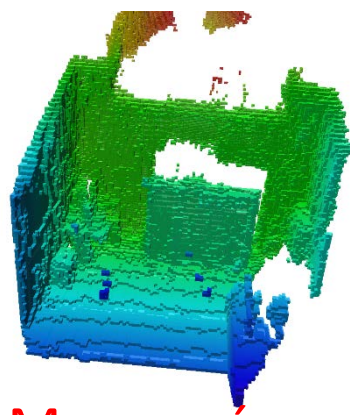
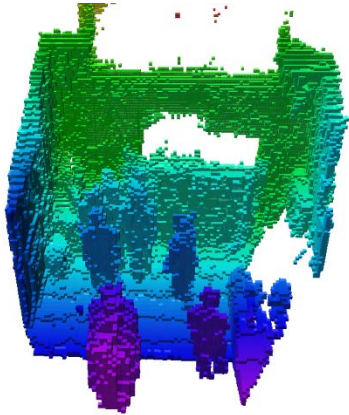
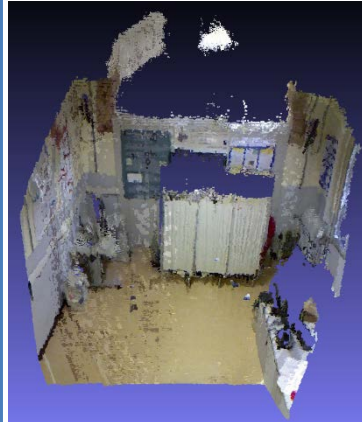
Características utilizadas: puntos

Mapa

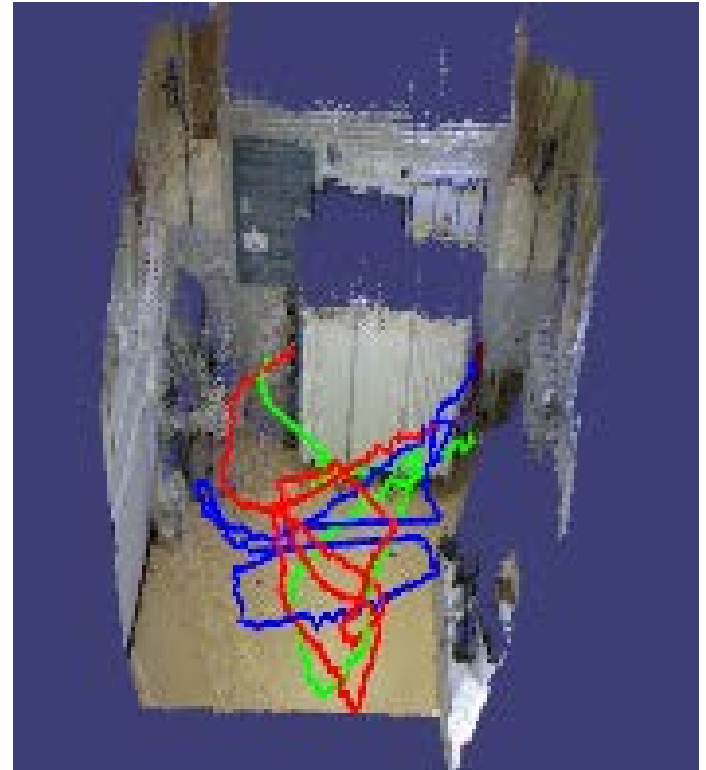


# Localización precisa en escenarios poblados y dinámicos

sin enmascarar    enmascarando



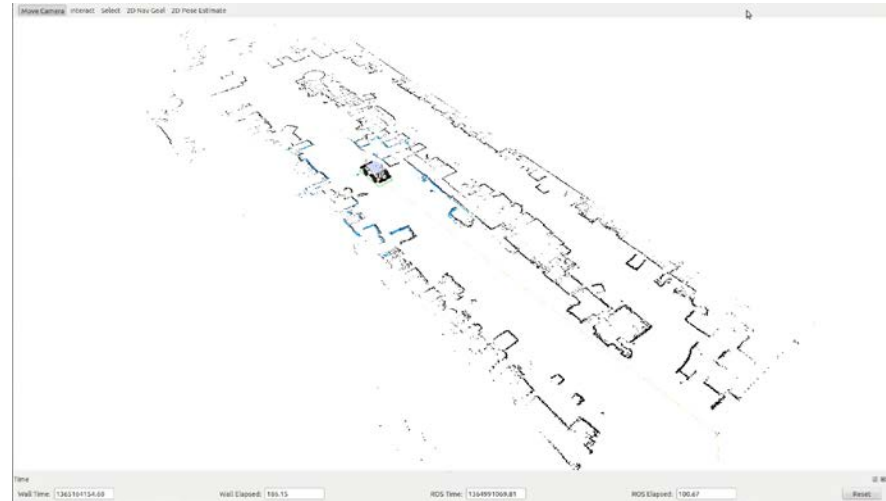
Mapa más preciso  
y limpio



Se preserva la semántica  
de las trayectorias  
→ planning



# Navegación y localización en entornos poco estructurados



- Path planning
- Evitación de obstáculos
- Maniobras
- Interior: IMU/odometría  
laser/visión
- Exterior: localización DGPS
- Transición interior-exterior
  - Cambio de sensores

# Navegación y localización en entornos hostiles

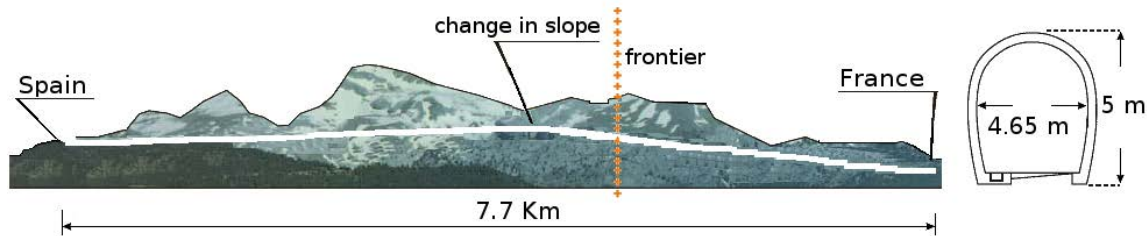
**Inspección, mantenimiento,  
vigilancia en túneles y galerías**



**Robotización en  
construcción de túneles**



# Túnel ferroviario antiguo de Somport



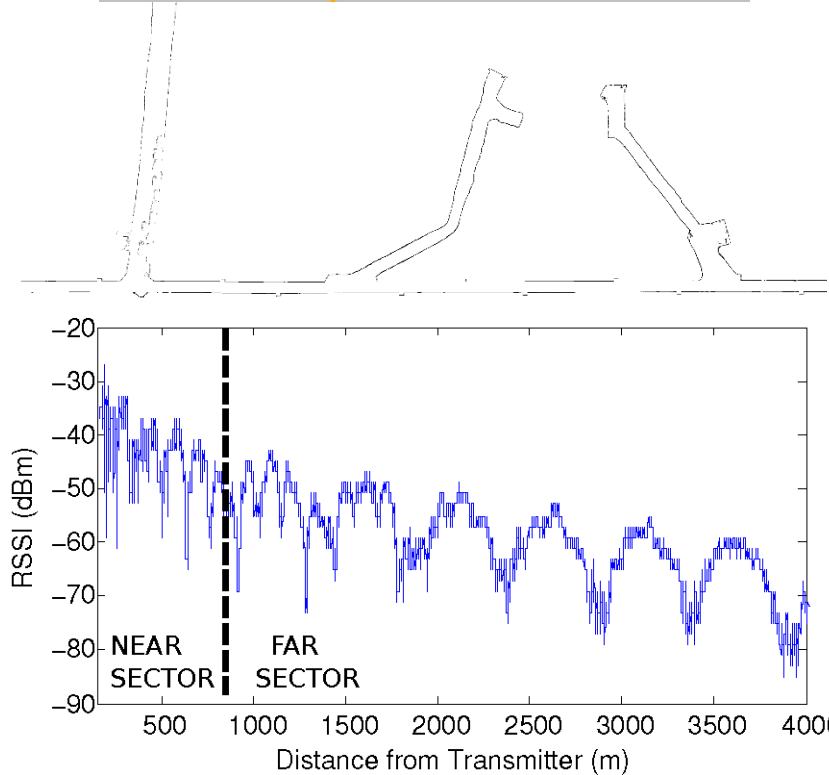
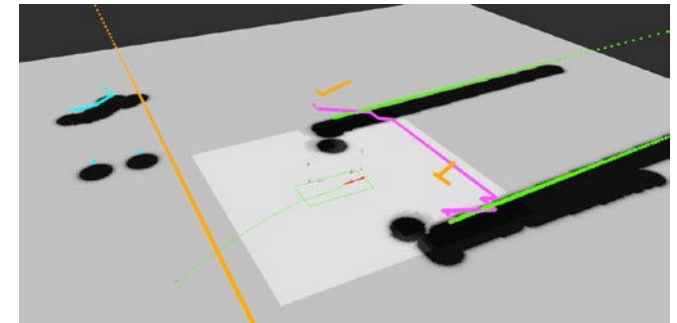
**Localización longitudinal complicada:**  
poca textura en paredes, mala iluminación,  
sin comunicaciones

Túnel principal

# Posible solución para localización:

## Integración de:

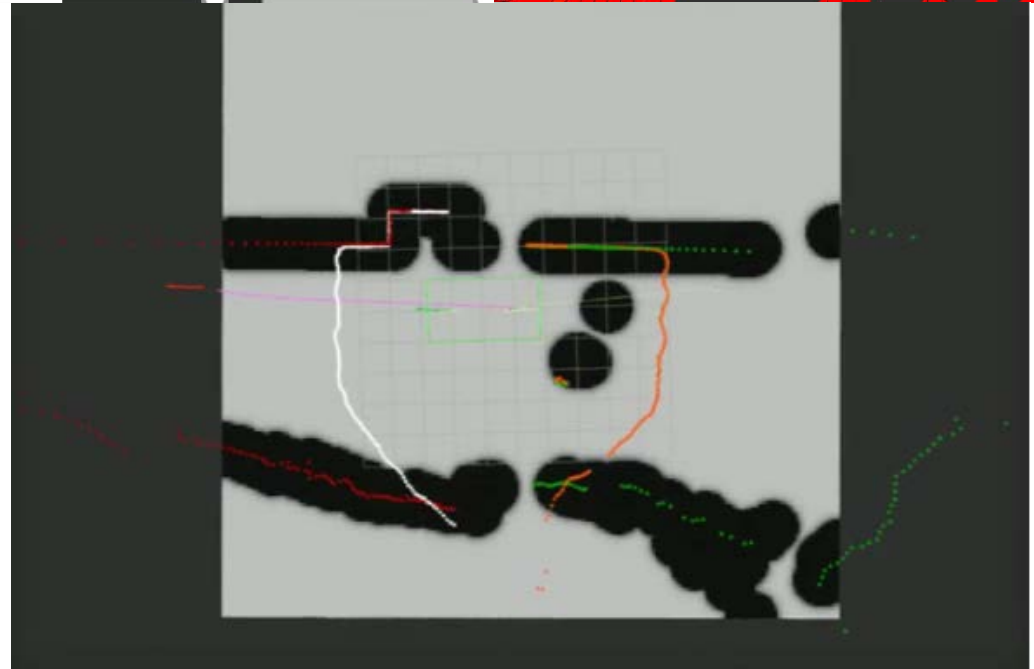
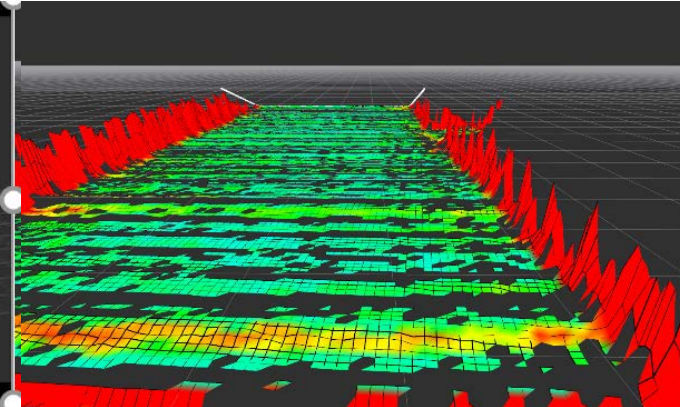
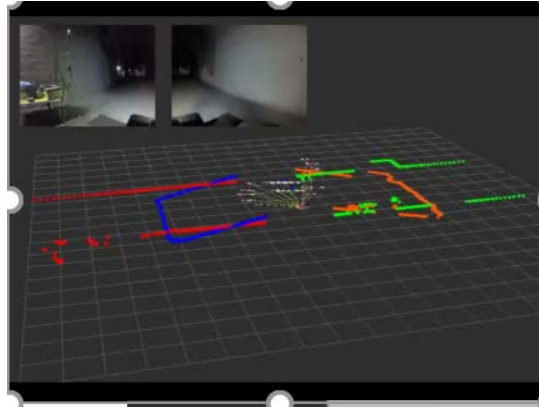
- Localización continua basada en:
  - Odometría/IMU
  - Laser/vision: scan matching/SLAM
- Características topológico-semánticas:
  - galerías laterales
  - Localización absoluta a partir de las galerías
- Señal de radiofrecuencia (wifi)
  - Túnel como guía de ondas
  - Localización absoluta a partir de los *fadings*





# Navegación: obstáculos y terreno irregular

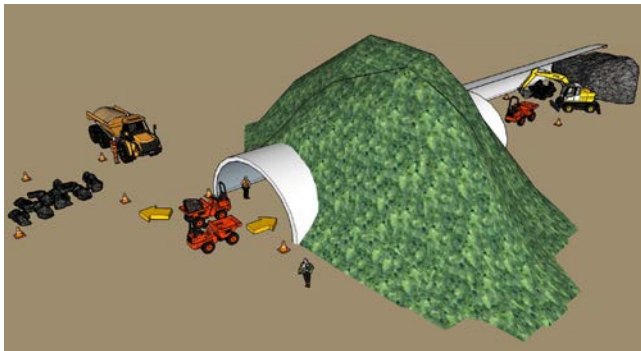
- Planificación global
  - Seguimiento de puntos vía en el centro del túnel
- Navegación reactiva
  - mapa local de elevación: obstáculos y suelo
- Navegación en mapa de costes a partir del de elevación



# Navegación: obstáculos y terreno irregular

Túnel en construcción: navegación en mapa de costes

Dumper robotizado



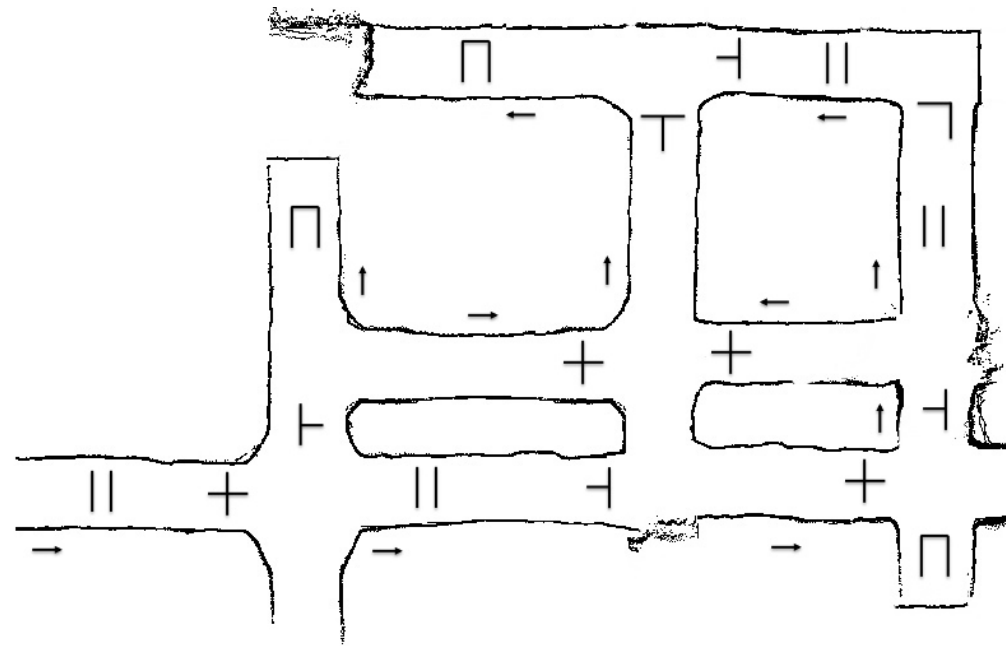
4. Navegación y localización en entornos poco estructurados u hostiles



# Reconocimiento de características semánticas

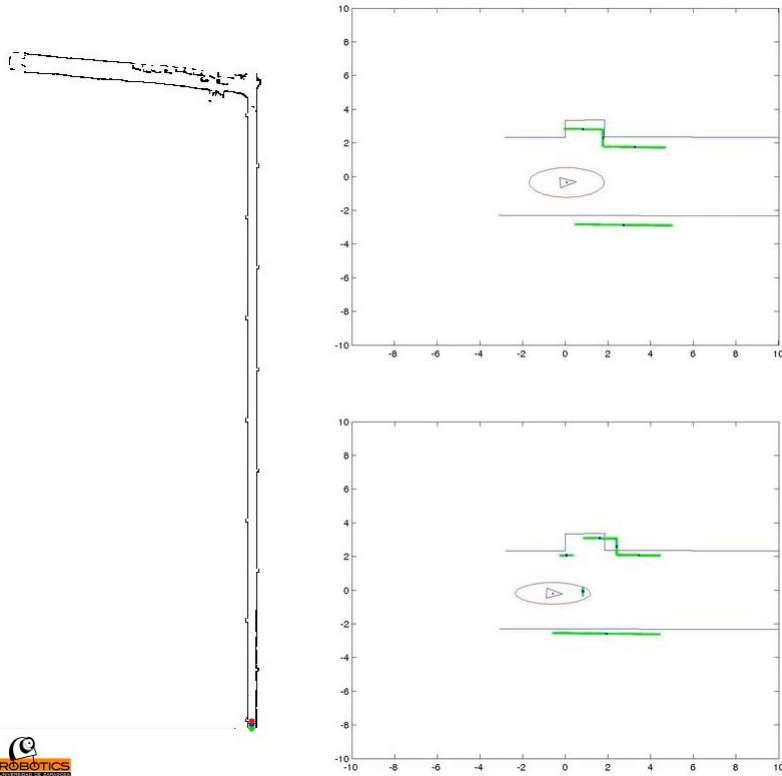
- características comunes en escenarios de galerías
- **aprendizaje** de características relevantes
- mapa **semántico-topológico** a partir de ellas + mapa **geométrico**
- **planificación y navegación** basada en este mapa
- nodos de **comunicación** móviles: robots

Perceptual feature	Symbol
<i>Diaphanous corridor</i>	
<i>End of corridor</i>	⊐
<i>Cross</i>	+
<i>Left hand</i>	└
<i>T-intersection</i>	┌
<i>Right hand</i>	┐
<i>Left turn</i>	└
<i>Right turn</i>	┐
<i>Unknown</i>	?

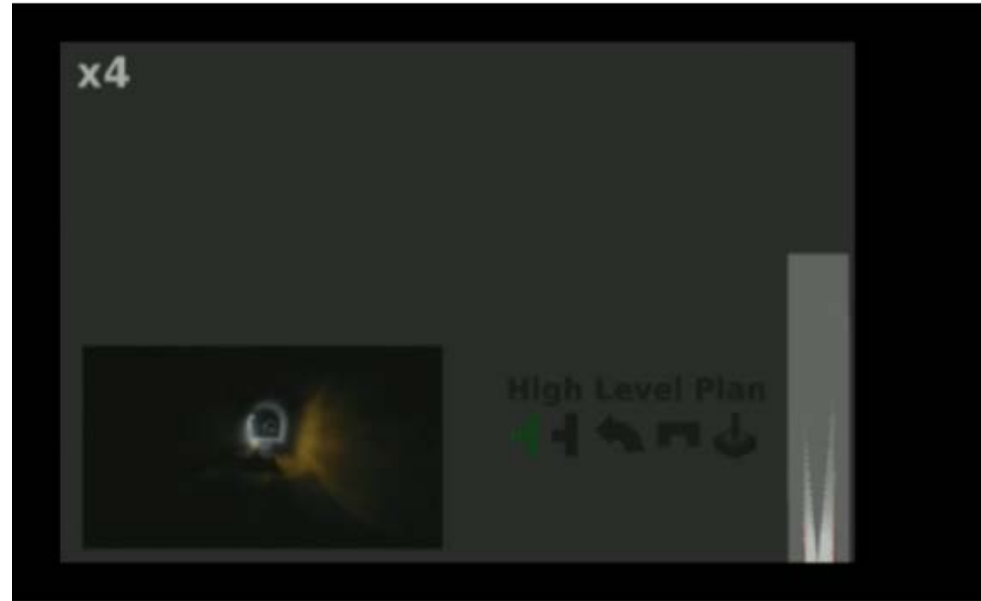


# Navegación-localización en mapas semánticos

## Navegación-localización sólo con localización continua

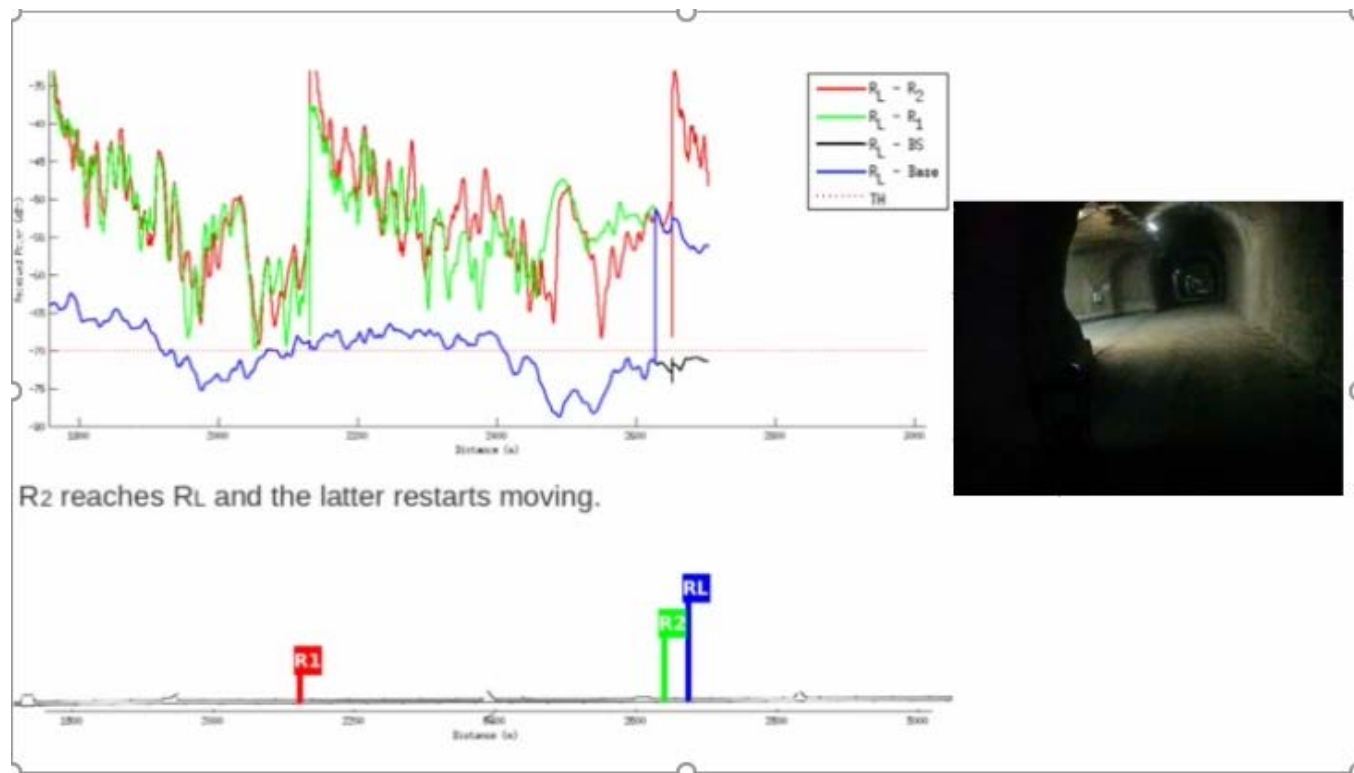


## Planificación-Navegación-Localización con características topológico-semánticas



# Despliegue multi-robot manteniendo calidad de señal

- se puede modelar la propagación de señal a partir de la geometría
- pilotado por RSSI de la señal de comunicación
- despliegue basado en los máximos de potencia de la señal
- localización absoluta a partir de la señal



# Planificación-Navegación-Localización en mina (laberinto)

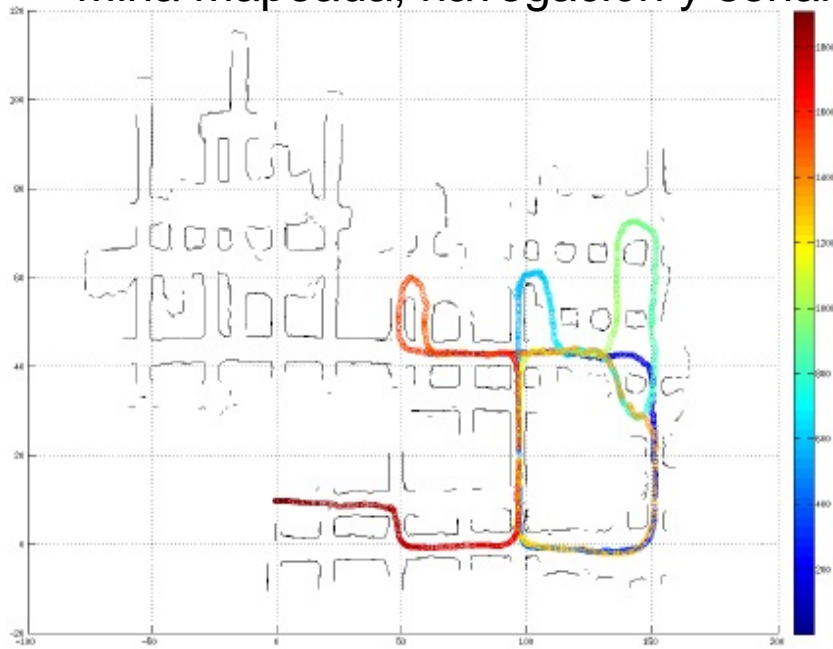


Difícil localización sólo con mapa geométrico

Una solución:

- **aprendizaje** de características relevantes
- mapa **semántico-topológico** de características
- **Navegación-localización** basada en este **mapa**
- nodos de **comunicación** móviles: despliegue de robots

Mina mapeada, navegación y señal



# CONCLUSIONES

- Hay muchos **problemas abiertos** en navegación, localización y comunicaciones en escenarios reales
- En determinados escenarios las técnicas de SLAM basadas en **características geométricas** pueden no proporcionar localización precisa
- La utilización de **información topológico-semántica** contribuye a resolver problemas de planificación, navegación y localización
- La **señal de comunicación** puede utilizarse para la localización y la planificación del despliegue de robots en entornos confinados

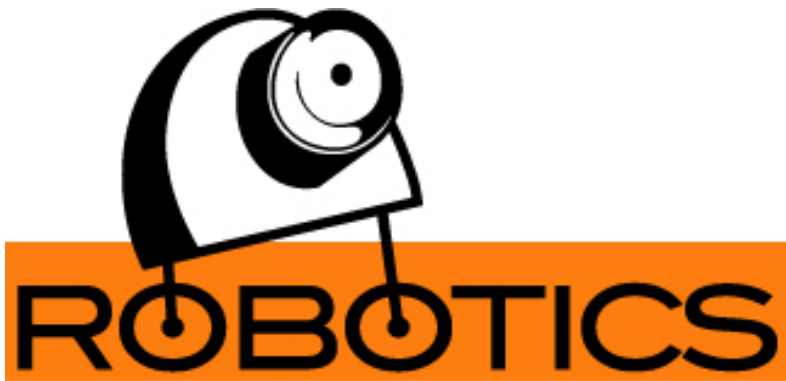
# REFERENCIAS

- P. Urcola, M.T. Lorente, J.L. Villarroel, L. Montano: Robust navigation and seamless localization for car-like robots in indoor-outdoor environments. *Journal of Field Robotics*. Vol. 34, N.4 pp 704-735, June 2017.
- Luis Riazuelo, Moritz Tenorth, Daniel DiMarco, Marta Salas, Dorian Gálvez-López, Lorenz Mösenlechner, Lars Kunze, Michael Beetz, Juan D. Tardós, Luis Montano, and J. M. Martínez-Montiel. “RoboEarth Semantic Mapping: A Cloud Enabled Knowledge-Based Approach”. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, Vol. 12, No.2, pp. 432-443, Abril 2015.
- D Tardioli, D Sicignano, L Riazuelo, A Romeo, JL Villarroel, L Montano. “Robot Teams for Intervention in Confined and Structured Environments”. *Journal of Field Robotics*, Wiley, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/rob.21577>, Marzo, 2015.
- C. Rizzo, D. Tardioli, D. Sicignano, L. Riazuelo, J. Villarroel, and L. Montano. “Signal Based Deployment Planning for Robot Teams in Tunnel-like Fading Environments”, *The International Journal of Robotics Research*, Sage Pub., Vol. 32, No. 12, pp. 1381-1397, Octubre 2013.
- Y. Marchukov, L. Montano. Communication-aware planning for robot teams deployment. *IFAC World Congress*, 9-14 July 2017.
- M.T. Lorente, L. Montano. Robot navigation balancing safety and time to goal in dynamic environments. *The European Conference on Mobile Robotics (ECMR2017)*, Paris, 4-10 September, 2017.
- L. Riazuelo, L. Montano and J. M. M. Montiel. Semantic Visual SLAM in Populated Environments. *The European Conference on Mobile Robotics (ECMR2017)*, Paris, 4-10 September, 2017.



# PROYECTOS

- Navegación y despliegue de robots en entornos desafiantes (ROBOCHALLENGE). DPI2016-76676-R. MINECO-2016, Retos de la Sociedad 2016, 2016-2019.
- Automatización del desescombros de túneles mediante dumpers convencionales robotizados (AUTODUMP), RTC-2015-4099-4, MINECO-2015, Retos Tecnológicos Colaboración 2015, 2015-2018.
- Tecnologías inteligentes para el transporte autónomo de mercancías en interiores y exteriores” (TITAM\_ie). IDI-20110855. Acciona Infraestructuras-Fondos Tecnológicos CDTI-2010, 2011-2014.
- Robots sharing a knowledge base for world modelling and learning actions (ROBOEARTH), ICT-2009-248942, Comisión Europea-2009, 2010-2013.



<http://robots.unizar.es>

## Contact Information

Main Researcher: Luis Montano Gella  
Robotics, Perception and Real time Group  
Edificio I+D+i Buiding  
Universidad de Zaragoza  
C/ Mariano Esquillor s/n  
50018, Zaragoza  
Spain  
e-mail: [montano@unizar.es](mailto:montano@unizar.es)