

## 5. PLAN DE TRABAJO

El personal del equipo de investigación, constituido por diez profesores y profesoras a tiempo completo, se organiza en equipos de trabajo específicos para acometer las distintas actividades planteadas. En la tabla 1 se resumen los integrantes del grupo con su abreviatura. En el plan de trabajo se especifica para cada una de las actividades, los componentes del equipo de trabajo usando estas abreviaturas. Además, para cada una de estas actividades se indican los participantes, así como el coordinador de esta actividad (subrayado).

Tabla 1: Composición del grupo de investigación

Abreviatura	Nombre	Universidad
<b>ORG</b>	Reinoso García, Oscar (CU)	UMH
<b>FTM</b>	Torres Medina, Fernando (CU)	UA
<b>PGV</b>	Gil Vázquez, Pablo (TU - Acreditado CU)	UA
<b>MBG</b>	Ballesta Galdeano, Mónica (TU)	UMH
<b>FAC</b>	Candelas Herías, Francisco Andrés (TU)	UA
<b>AGA</b>	Gil Aparicio, Arturo (TU)	UMH
<b>LMJ</b>	Jiménez García, Luis Miguel (TU)	UMH
<b>JMM</b>	Marín López, José María (TU)	UMH
<b>LPC</b>	Payá Castelló, Luis (TU)	UMH
<b>STP</b>	Puente Méndez, Santiago Timoteo (TU)	UA

### Línea de Navegación

**A.1 Creación de modelos topológicos visuales, de manera incremental.** Se explorarán los límites de los sistemas de visión omnidireccional como única fuente de información para crear estos modelos en el caso de entornos extensos, complejos y cambiantes, incluyendo entornos de interior, exterior y combinados y condiciones de trabajo reales. (Participantes: LPC, ORG, AGA)

- Hito A1-H. Estudio de herramientas de aprendizaje profundo para la creación de descriptores visuales holísticos robustos, válidos tanto en entornos interiores como exteriores.
- Hito A1-H2. Desarrollo de un algoritmo de mapping topológico, de manera absoluta, analizando conjuntamente toda la información capturada por el sistema de visión a bordo del robot.
- Hito A1-H3. Adaptación del algoritmo de mapping para crear el modelo de forma incremental, incluyendo detección de cierre de ciclos y corrección del modelo generado hasta el momento.
- Entregable A1-E. Módulos de software correspondientes a los hitos 2 y 3 e informe de resultados de estos algoritmos en entornos de trabajo reales bajo condiciones de operación dinámicas.

**A.2 Creación de modelos híbridos jerárquicos, a partir de la información capturada por un sistema de visión omnidireccional y un LiDAR 3D.** El mapa contendrá una jerarquía de capas: desde capas topológicas de alto nivel que contienen información sobre las partes estructurales (más invariables) del entorno hasta capas métricas de bajo nivel que incluyan información más relativa a los componentes más propensos a cambiar por la propia complejidad del entorno. (Participantes: LPC, ORG, AGA)

- Hito A2-H1. Implementación de descriptores que combinen apariencia visual e información de distancia láser.
- Hito A2-H2. Implementación del algoritmo de mapping. Desarrollo de métodos para extraer la información a almacenar en cada capa, a partir de los descriptores implementados en el hito 1.
- Hito A2-H3. Desarrollo del mapa mediante un equipo de robots. Integración en un único mapa de la información almacenada por un equipo de robots móviles.

- Entregable A2-E. Módulos de software correspondientes a los tres hitos, e informe de resultados de los algoritmos desarrollados, incluyendo la estructura de los mapas creados.

**A3. Resolver el problema de localización a partir de los modelos creados, con una incertidumbre asociada, en función de las estimaciones previas y la fiabilidad de la información capturada por los sensores.** Se prestará especial atención a las posibles situaciones imprevistas que puedan surgir en una aplicación real y se incorporará esta información al modelo, para facilitar la detección de futuras situaciones similares. (Participantes: FTM, FAC, LPC, **ORG**)

- Hito A3-H1. Implementación de un algoritmo de localización probabilístico que tenga en cuenta estimaciones previas y los datos sensoriales actuales, considerando la información de las capas de nivel superior del mapa jerárquico.
- Hito A3-H2. Entrenamiento y uso de arquitecturas de aprendizaje profundo para resolver el problema de estimación de orientación relativa con robustez.
- Hito A3-H3. Desarrollo de un método que utilice la información capturada por el robot y el resultado del proceso de localización gruesa para detectar situaciones imprevistas, comparando con las capas de nivel inferior, y en base a ello actualizar el modelo del entorno.
- Entregable A3-E. Módulos de software correspondientes a los tres hitos, e informe de resultados de los algoritmos desarrollados, incluyendo un análisis de sensibilidad ante cambios en los parámetros más relevantes.

**A4. Localización de robots en entornos exteriores mediante imágenes georreferenciadas, sin exploración previa y haciendo uso de LiDAR y cámaras.** Se van a fusionar los datos procedentes de cámara y LiDAR para etiquetar con colores la nube de puntos proporcionada por el láser. Se preprocesará la nube para que contenga también información de características de borde. Por otra parte, se preprocesará la imagen georreferenciada para que se pueda proyectar la nube de puntos como “vista de pájaro” en dicha imagen georreferenciada, de forma que permita la posibilidad de navegar en zonas inexploradas previamente por el vehículo. (Participantes: **FTM**, FAC, LPC, ORG)

- Hito A4-H1: Alineación en color y bordes entre la nube de puntos y la imagen aérea mediante una función objetivo.
- Hito A4-H2: Implementación de un algoritmo de descenso de gradiente que maximice la función objetivo en base a la estimación de la localización obtenida.
- Hito A4-H3: Sistema de localización online a través de OpenStreetMap (OSM)
- Entregables A4-E: Informes y módulos de software de los resultados de los hitos A4-H1 y A4-H2. Datos de localización online de un robot en entornos exteriores inexplorados, a partir del hito A4-H3.

**A5. Calibración automática de sensores Cámara-LiDAR en exteriores y situaciones adversas.** Desarrollo de un algoritmo capaz de estimar de forma precisa los parámetros extrínsecos que relacionan las ubicaciones de los sensores de visión y LiDAR. Para estimarlos en navegación autónoma, en la que se producen cambios en ellos y sin que se disponga de marcas conocidas en el entorno para realizar reajustes, se investigará en un método independiente de ninguna marca conocida, así como de cualquier estructuración del entorno. (Participantes: **FTM**, FAC, LPC, ORG)

- Hito A5-H1: Obtención de un método de corrección de características de borde de puntos LiDAR arbitrarios, con características de bordes en píxeles de la imagen.
- Hito A5-H2: Estimación de parámetros que minimicen el error en el plano imagen entre los puntos corregidos.
- Entregables A5-E: Informes y módulos de software de los resultados de ambos hitos, teniendo en cuenta diversas situaciones adversas, como climáticas, etc.

**A6. Planificador de misiones para determinar las trayectorias y acciones de que la plataforma robótica móvil con manipulador debe llevar a cabo.** Se plantea el diseño y desarrollo de un planificador de misiones que actuará en dos fases. Primero, deberá elaborar posibles trayectorias y listas de acciones para la plataforma móvil y su manipulador, a partir de la información de un mapa global etiquetado de la zona de trabajo en exteriores y del modelo del vehículo, así como de una descripción de alto nivel de las tareas de la misión. Segundo, el planificador funcionará como un módulo de navegación de alto nivel que actuará según la información de los algoritmos de localización, y proporcionará consignas a los sistemas de control de la plataforma y la manipulación para llevar a cabo las trayectorias y acciones más adecuadas de entre las posibles. Se pretende que el planificador use técnicas (Participantes: FTM, **FAC**, MBG)

- Hito A6-H1. Estudio y selección de posibles técnicas actuales de planificación y gestión de misiones para plataformas móviles, que tengan en cuenta no solo las trayectorias sino también las acciones.
- Hito A6-H2. Diseño de la arquitectura software del planificador, adecuado para llevar a cabo tareas de navegación y manipulación en exteriores, a partir de algoritmos del estado del arte y de nuevos métodos que surjan en la investigación.
- Hito A6-H3. Desarrollo de un entorno de simulación que permita depurar y evaluar los algoritmos del planificador de misiones, considerando el modelo de la plataforma móvil con su manipulador, módulo de movimiento de la plataforma y de manipulación, y diferentes escenarios simulados de exteriores.
- Hito A6-H4. Desarrollo e implementación de las fases de planificación de trayectorias y acciones para una misión dada, y de navegación y ejecución de acciones. Se trabajará con una simulación de la plataforma y su entorno para depurar y ajustar los algoritmos.
- Entregables A6-E: Informe de técnicas actuales apropiadas, a partir del estudio del hito A6-H1, esquemas y descripción de modelos y algoritmos del diseño del planificador para el hito A6-H2, simulador y modelos para el hito A6-H3, y módulos software que implementen el planificador obtenidos al alcanzar el hito A6-H4.

**A7. Extensión del planificador de misiones.** Se debe dotar a la fase de navegación de mayor inteligencia durante el desarrollo de la misión para que aborde satisfactoriamente situaciones en un entorno dinámico. Para ello, durante la navegación se tendrá en cuenta, además de la localización, la percepción y la detección de los elementos estáticos y dinámicos del entorno abordados en otras actividades, con el fin de seleccionar las trayectorias y acciones más adecuadas, o incluso de replanificar éstas. Para esta actividad considerará la aplicación de técnicas de aprendizaje automático, como machine learning y deep learning. (Participantes: FTM, **FAC**, MBG)

- Hito A7-H1. Investigación y diseño de un algoritmo de planificación dinámico que analice el entorno del robot, a partir de la información generada por los algoritmos de detección o reconocimiento, para determinar la idoneidad de las trayectorias y acciones, seleccionando las que se consideren más adecuadas.
- Hito A7-H2. Desarrollo e implementación del algoritmo de planificación dinámico. Para este hito, se trabajará con simulación de la plataforma y su entorno, así como con datasets de información de percepción y detección, para elementos estáticos y dinámicos, obtenidos de repositorios públicos y de pruebas previas llevadas a cabo en el proyecto.
- Entregables A7-E: Descripción de modelos y algoritmos del diseño del planificador dinámico para el hito A7-H1, módulos software que implementen el planificador dinámico obtenidos con el hito A7-H2, y datasets que se pueden generar con las simulaciones de la plataforma.

#### Línea de reconocimiento

**A.8 Segmentación de imágenes en regiones con significado en escenas de interior y exterior.** Esta actividad plantea la implementación de algoritmos que permitan separar las imágenes en zonas con significado propio. En concreto,

se plantea detectar en las imágenes personas u otros objetos existentes en el entorno. (Participantes: LMJ - AGA - ORG)

- Hito A8-H1: Selección y evaluación de métodos de aprendizaje para la segmentación de imágenes.
- Hito A8-H2: Entrenamiento de redes neuronales profundas para la detección y reconocimiento de elementos en el entorno con imágenes capturadas por el robot.
- Hito A8-H3: Reconocimiento y clasificación de los elementos detectados en la imagen y publicación de esta información para las tareas de navegación o manipulación.
- Entregables A8-E: Informe sobre el estado del arte. Algoritmo entrenado de red neuronal profunda con capacidad para la detección de elementos en las imágenes. Resultados de la red neuronal en términos de capacidad de detección y porcentajes de acierto en el reconocimiento de objetos.

**A.9 Interpretación de la escena a partir de la fusión de las imágenes y los datos de láser.** Esta tarea complementa a la anterior y plantea la utilización de datos de un sensor láser 3D para enriquecer la información visual proporcionada por las cámaras. En concreto, la información tridimensional proveniente del láser permitirá la estimación precisa de la posición de los objetos detectados y se podrá utilizar para el modelado y el análisis de las trayectorias de los objetos en el entorno. (Participantes: LMJ - AGA - PGV)

- Hito A9-H1: Evaluación de procedimientos de podado en nubes de puntos.
- Hito A9-H2: Entrenamiento de redes neuronales profundas para la interpretación de los elementos del entorno usando una combinación de imágenes e información tridimensional proporcionada por un láser.
- Entregables A9-E: Algoritmo basado en una de red neuronal profunda que permite la interpretación de elementos en el entorno usando información visual y tridimensional. Obtención de resultados en relación con la capacidad de detección y porcentajes de acierto.

**A.10 Detección y aprendizaje profundo de las zonas estables en las imágenes ante diferentes condiciones de iluminación.** Esta actividad considera la extracción de zonas de las imágenes que sean estables ante cambios de iluminación. Esta tarea resulta de gran utilidad para la creación de mapas en el exterior que resulten útiles para el robot y le permitan localizarse en el entorno durante cualquier momento del día. (Participantes: LMJ - AGA - STP - MBG)

- Hito A10-H1: Captura de datos experimentales de imágenes del exterior con cambios significativos de iluminación.
- Hito A10-H2: Aplicación de técnicas de machine learning para la extracción de zonas de la imagen invariantes a cambios de iluminación. Aplicación de técnicas y algoritmos para la representación de estas imágenes usando descriptores de multi-nivel.
- Entregables A10-E: Algoritmo de descripción multi-nivel de las imágenes que permite una representación de la imagen invariante a grandes cambios de iluminación.

**A.11 Estimación y modelado de las trayectorias de los objetos usando información visual y tridimensional.** Esta tarea considera la detección de objetos y personas en observaciones consecutivas realizadas por el robot. Se empleará una fusión de datos provenientes de imágenes y de LiDAR para poder proporcionar una secuencia de posiciones y de orientaciones de los elementos alrededor del robot. Seguidamente, se aplicarán algoritmos que permitan modelar y predecir las trayectorias de estos elementos para que se pueda utilizar esta información en la navegación del robot. (Participantes: LMJ - AGA - ORG - STP - MBG)

- Hito A11-H1: Captura de datos experimentales de datos de láser e imágenes en entornos de interior y exterior.
- Hito A11-H2: Aplicación de técnicas probabilísticas que permitan el modelado de las trayectorias de objetos dinámicos alrededor del robot.
- Entregables A11-E: Algoritmo que estima la posición y velocidad de los elementos dinámicos que rodean al robot y predice la posición de estos en diferentes instantes de tiempo.

### Línea de Manipulación

**A.12 Calcular puntos de contacto desde múltiples vistas.** Se trabajará en el cálculo de puntos de agarre del objeto atendiendo a imágenes adquiridas desde cámaras localizadas espacialmente en distintas posiciones y que, por lo tanto, proporcionan puntos de vista distintos del objeto, en aras de suplir la pérdida de información por oclusiones o por el propio volumen del objeto. También se trabajará en el cálculo de puntos de agarre utilizando imágenes multispectrales del objeto. Para el cálculo de puntos de agarre se tendrá en cuenta la cinemática de la mano-pinza robótica con el que se llevará a cabo el proceso de agarre. El objetivo, es proporcionar puntos candidatos de agarre que posibiliten llevar a cabo un correcto contacto entre objeto y robot. (Participantes: **PGV** - STP - JMM)

- Hito A12-H1: Diseño, montaje y adquisición de vistas parciales 3D del objeto
- Hito A12-H2: Implementación de un sistema capaz de proporcionar puntos candidatos de agarre considerando el conjunto de todas las vistas.
- Hito A12-H3: Sistema de agarre para un robot y posibilidad de extensión para un agarre dual.
- Entregables A12-E: Informe técnico del diseño del montaje del hito A12-H1, del algoritmo implementado en el hito A12-H2, así como módulo de software del sistema de agarre del hito A12-H3.

**A.13 Detectar deslizamiento/movimiento en objetos en mano.** Se trabajará en el desarrollo de algoritmos de detección y clasificación de contacto en base a información de fuerza/presión obtenida por sensores táctiles montados en una mano-pinza robótica. El principal propósito es conseguir un sistema de manipulación robótica inteligente que sea capaz de detectar cuando el objeto desliza o se mueve durante el proceso de manipulación de manera involuntaria como consecuencia de una mala pose del objeto-robot o debido a la naturaleza del objeto (material con el que está fabricado o características de su superficie o forma, etc.). Para ello se tiene previsto usar no solo sensores táctiles (basados en electrodos) de los que ya dispone el equipo de investigación sino también de la construcción de otros basados en imagen y de bajo coste, de los que recientemente se han comprado componentes para su fabricación, montaje y puesta en funcionamiento. Además, se tiene previsto combinar técnicas tradicionales de procesamiento de imagen con técnicas de aprendizaje automático. (Participantes: **PGV** - STP - JMM)

- Hito A13-H1: Diseño de montaje y puesta en marcha de sensores táctiles
- Hito A13-H2: Diseño e implementación de algoritmos para reconocimiento táctil y clasificación de eventos de contacto
- Hito A13-H3: Entrenamiento y validación de los algoritmos
- Entregables A13-E: Informe técnico de diseño del montaje e interfaz software desarrollada en hito A13-H1 para adquisición y representación de información táctil, y módulo software que incorpore los algoritmos implementados en hito A13-H2 y A13-H3.

**A.14 Control táctil en tareas de manipulación.** Se investigará en técnicas de control y en metodologías para incorporar datos de contacto e imágenes táctiles, y/o información resultante de los algoritmos de la actividad A.9 de detección, al lazo de control para la manipulación. La finalidad de esta actividad consiste en implementar un algoritmo de control que permita ejecutar manipulaciones estables mediante una corrección del agarre en base a la retroalimentación proporcionada por la percepción que se tiene del tacto. (Participantes: **PGV** - STP - FTM - JMM)

- Hito A14-H1: Estudio de métodos de control y diseño de la arquitectura del controlador
- Hito A14-H2: Desarrollo de un algoritmo de control táctil para conseguir una manipulación del objeto sin que se produzcan movimientos indeseados de éste que produzcan inestabilidad.
- Entregables A14-E: Informe técnico y módulo software del controlador táctil implementado en base a los hitos A14-H1 y A14-H2.

### Actividades Globales

**AG.1 Experimentación y pruebas de validación.** Las actividades de las tres líneas de investigación incluirán experimentos y tests para validar los desarrollos realizados. Estos experimentos requerirán la integración de los diferentes equipos y módulos software implementados en las diferentes líneas de trabajo, por lo que es necesaria una tarea global de integración y pruebas finales. Se plantean un conjunto de experimentos de validación de los resultados en escenarios reales y bajo condiciones reales de operación. Esta actividad se realizará durante el último año del proyecto una vez estén disponibles los diferentes prototipos o módulos software desarrollados en las tres líneas de investigación. Participantes: **ORG** - FTM - LPC - PGV - STP - FAC - AGA MBG - LMJ - JMM)

- Hito AG1-H1: Integración de módulos de reconocimiento, navegación y manipulación.
- Entregables AG1-E: Informe técnico de resultados de pruebas de integración.

**AG.2: Coordinación, gestión y difusión de resultados.** Como complemento de las tareas específicas que se van a desarrollar en las diferentes líneas del proyecto, esta actividad global tiene como propósito coordinar las diferentes actividades mediante reuniones periódicas que permitan establecer un seguimiento del estado de progresos del proyecto y una evaluación de los hitos alcanzados, estableciendo responsabilidades, control de riesgos y planes de contingencia, control de calidad, así como proponer actividades que permitan la adecuada coordinación de los diferentes grupos de trabajo. Adicionalmente se establecerá una planificación de las acciones de difusión, divulgación y comunicación de proyecto a través: publicaciones en revista, página web, repositorios de datos, repositorios de software. (Participantes: **ORG** - FTM - LPC - PGV - STP - FAC - AGA MBG - LMJ - JMM)

- Como hitos se plantean reuniones periódicas AG2-X al principio de cada semestre, y reuniones adicionales ligadas a la consecución de hitos y entregables que requieran la coordinación y la toma de decisiones.