

Jornadas de Automática

Integración basada en estándares de flotas móviles como activos industriales

Fernando Arbulu ^a, Ekaitz Hurtado ^a, Federico Pérez ^a, María Luz Álvarez ^a, Oskar Casquero ^a, Aintzane Armentia ^{b,*}

^a Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática, Escuela de Ingeniería de Bilbao, Universidad del País Vasco (EHU), 48013 Bilbao.

^b Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática, Escuela de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz, Universidad del País Vasco (EHU), 01006 Vitoria-Gasteiz.

To cite this article: Arbulu, F., Hurtado, E., Pérez, F., Álvarez, M.L., Casquero, O., Armentia, A. 2026. Standards-based integration of mobile fleets as industrial assets. *Jornadas de Automática*, 47.
<https://doi.org/10.17979/ja-cea.2026.47.13805>

Resumen

La integración de flotas de robots móviles en la Industria 4.0 exige superar la mera interoperabilidad técnica para permitir su incorporación dentro de sistemas de fabricación flexibles. Este trabajo presenta una aproximación basada en estándares para integrar gestores de flota como activos industriales agregados, cubriendo su configuración, aprovisionamiento y operación. La propuesta combina el estándar Asset Administration Shell (AAS) y el modelo Capability-Skill-Service (CSS) para modelar la flota como un activo industrial agregado con identidad propia, utilizando VDA 5050 como elemento transversal para su gestión operativa. A partir de esta descripción, se propone una extensión del framework Self-configurable Manufacturing Industrial Agents (SMIA), generando un agente autónomo denominado SMIA FM. Esta entidad se aprovisiona de la definición estandarizada de la flota, interactúa con el sistema de fabricación mediante FIPA-ACL y orquesta los robots móviles de la flota mediante VDA 5050. Su validación en un entorno simulado ROS 2 demuestra la viabilidad funcional de la propuesta.

Palabras clave: Sistemas multiagente, Interoperabilidad, Robots móviles, Coordinación de sistemas multivehículo, Sistemas de fabricación inteligentes.

Standards-based integration of mobile fleets as industrial assets

Abstract

The integration of mobile robot fleets into Industry 4.0 requires going beyond mere technical interoperability to enable their incorporation into flexible manufacturing systems. This paper presents a standards-based approach for integrating fleet managers as aggregated industrial assets, covering their configuration, provisioning, and operation. The proposal combines the Asset Administration Shell (AAS) standard and the Capability-Skill-Service (CSS) model to model the fleet as an aggregated industrial asset with its own identity, using VDA 5050 as a cross-cutting element for its operational management. Based on this description, an extension of the Self-configurable Manufacturing Industrial Agents (SMIA) framework is proposed, generating an autonomous agent called SMIA FM. This entity is provisioned with the standardized definition of the fleet, interacts with the manufacturing system via FIPA-ACL, and orchestrates the fleet's mobile robots via VDA 5050. Its validation in a ROS 2 simulated environment demonstrates the functional viability of the proposal.

Keywords: Multi-agent systems, Interoperability, Mobile robots, Coordination of multiple vehicle systems, Intelligent manufacturing systems.

1. Introducción

La incorporación de robots móviles autónomos (AMR) y vehículos guiados automáticos (AGV) está transformando la logística interna en almacenes y plantas de fabricación. Sin embargo, el desafío trasciende la mera resolución de la

navegación punto a punto de robots individuales. En escenarios operativos reales surgen dinámicas complejas que involucran múltiples robots, misiones simultáneas, prioridades e incidencias. Por ello, el reto principal no está solo en conectar robots, sino en dotar al sistema de capacidad para decidir y coordinar su comportamiento colectivo.

Los gestores de flota emergen como respuesta a esa necesidad. Un gestor de flota, Fleet Manager (FM) en adelante, trasciende la función de simple asignador de órdenes, sino como una entidad responsable de coordinar robots, monitorizar estados operativos, gestionar incidencias y garantizar trazabilidad de las misiones. En entornos industriales, este papel suele requerir un comportamiento determinista y supervisable: las tareas de transporte no deben depender de decisiones opacas o de una negociación libre entre robots, si el proceso productivo exige previsibilidad. Esta necesidad explica el interés industrial por soluciones de gestión centralizada de flota y por interfaces normalizadas que permitan integrar robots de distintos fabricantes.

En este contexto han aparecido soluciones comerciales de gestión de flotas AMR (e.g., KUKA AMR Fleet o MiR Fleet) (“AMR fleet management,” n.d.; “MiR Fleet,” n.d.), así como iniciativas dirigidas específicamente a facilitar la implantación de robótica móvil en pequeñas y medianas empresas, como LogiBlock (Engra, n.d.). Históricamente, las soluciones de gestión de flotas han estado ligadas a interfaces específicas de fabricante. Este enfoque propietario ha impulsado estándares como VDA 5050, orientados a facilitar la interoperabilidad entre flotas heterogéneas. Concretamente, VDA 5050 se ha consolidado como una referencia para normalizar la comunicación entre un sistema de control maestro y vehículos móviles en procesos intralógicos (Verband der Automobilindustrie e.V. and Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V., 2022).

Aunque estos estándares facilitan la interoperabilidad operativa, no definen mecanismos para representar al FM como activo interoperable dentro del sistema de fabricación. En este contexto, estándares como Asset Administration Shell (AAS) permiten describir activos industriales y facilitar el intercambio estructurado de información (Industrial Digital Twin Association e.V., 2024). Complementariamente, propuestas como el modelo Capability-Skill-Service (CSS) posibilitan enriquecer de forma modular estas descripciones con información funcional (Köcher et al., 2023). Aun así, estos modelos carecen de autonomía operativa, requiriendo paradigmas habilitadores como los agentes industriales, que ofrecen un marco natural para representar entidades autónomas capaces de interactuar, solicitar servicios y coordinarse en entornos distribuidos.

En el ámbito de Industria 4.0, varios trabajos relacionan los agentes industriales con la evolución hacia AAS proactivos (Tipo 3), donde la representación digital del activo no solo actúa como contenedor pasivo de información, sino que participa activamente en procesos de decisión y colaboración (Sakurada et al., 2025). En esta línea, la propuesta Self-configurable Manufacturing Industrial Agents (SMIA) (Hurtado et al., 2025) automatiza la generación de gemelos digitales operativos, implementados como agentes industriales a partir de descripciones estandarizadas de los activos, recogidas en AAS enriquecidos con el modelo CSS.

Sin embargo, aunque SMIA permite digitalizar e integrar activos individuales, no resuelve la integración de activos agregados, como es el caso de un FM responsable de coordinar múltiples robots móviles. Además de la

coordinación operacional, la integración de un FM requiere abordar diferentes fases de su ciclo de vida, incluyendo la configuración de la flota y su operación.

Este trabajo presenta la integración interoperable de un FM, cubriendo su ciclo de vida completo, desde su modelado e inicialización hasta su operación. La propuesta considera el FM como un activo industrial agregado capaz de coordinar operativamente robots móviles mediante VDA 5050 y, simultáneamente, integrarse dentro del ecosistema de fabricación mediante SMIA y comunicación FIPA-ACL. La propuesta se centra en interoperabilidad semántica e integración en sistemas de fabricación flexible, y no en optimización operativa.

Para ello, la propuesta se articula en torno al estándar VDA 5050 para la descripción y gestión operativa de la flota. La caracterización de la flota como activo agregado, sus métodos de acceso y las capacidades logísticas ofrecidas al sistema de fabricación se formalizan mediante el estándar AAS. La autogeneración de gemelos digitales de FM a partir de dicha información se implementa mediante una extensión de SMIA, consolidando entidades con autonomía suficiente para integrarse como activo agregado mientras gestiona su flota.

La estructura del artículo es la siguiente. En la Sección 2 se presenta el escenario general de la solución propuesta y cómo cubre el ciclo de vida completo de un FM. La Sección 3 aborda la materialización tecnológica de la propuesta, mientras que la Sección 4 presenta el caso de uso diseñado para su validación. Por último, la Sección 5 recoge las conclusiones y líneas futuras.

2. Escenario general: ciclo de vida del gestor de flotas

La solución de integración propuesta cubre el ciclo de vida de un FM, incluyendo su configuración, aprovisionamiento y operación. Para cada fase se incorporan estándares y tecnologías complementarias, que permiten automatizar la transformación de una descripción formal del FM en un gemelo digital operativo, cubriendo su inicialización y posterior operación dentro del sistema de fabricación.

En primer lugar, para la fase de *configuración* se propone un modelado de activos agregados, basado en AAS y CSS. Este modelo estructura la descripción de los FM desde dos perspectivas complementarias. Por un lado, conceptualiza el FM como gestor de flota, identificando los robots móviles que la componen y la información necesaria para interactuar con ellos, según lo establecido por VDA 5050. Por otro lado, describe el FM como activo de fabricación, estableciendo las capacidades logísticas que ofrece al resto de activos del sistema.

Una vez configurado, durante la fase de *aprovisionamiento* se propone interpretar esta información para la inicialización automática del correspondiente gemelo digital del FM, denominado SMIA FM, debido al framework de referencia empleado. Así, durante esta fase se inicializarán las interfaces VDA 5050 necesarias para la interacción con los robots de la flota, al mismo tiempo que se llevará a cabo la integración de SMIA FM en el sistema de fabricación (mediante interfaces basadas en FIPA-ACL).

Por último, la información recogida en el modelado del FM también se explota durante la fase de *operación* para

responder a solicitudes de las capacidades expuestas realizadas por otros activos (humanos, lógicos o físicos). Cuando corresponde, SMIA FM traduce estas solicitudes en misiones sobre la flota, asumiendo la gestión integral de las mismas.

Para lograr gemelos digitales con la autonomía suficiente para abordar estas dos últimas fases se propone el desarrollo de una extensión de SMIA que, partiendo del mismo modelo, permite integrar el FM como activo interoperable dentro del sistema de fabricación y coordinar operativamente la flota. La Figura 1 muestra la arquitectura general de integración del FM durante la fase de operación, representado por su gemelo digital SMIA FM, así como las relaciones entre los componentes y estándares implicados.

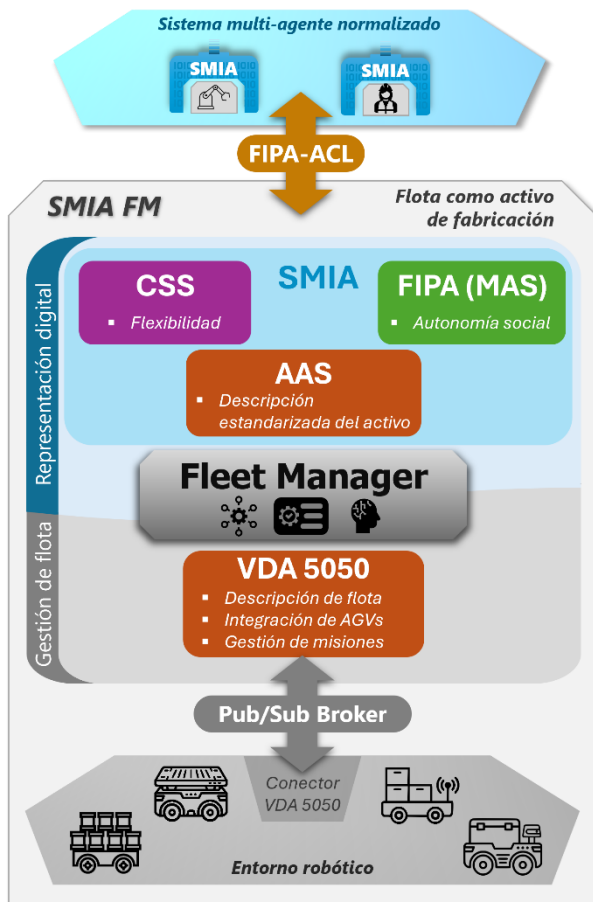


Figura 1: Arquitectura general de integración del gestor de flotas durante la fase de operación.

Tal y como se observa en la Figura 1, la comunicación del FM con los robots es establecida por VDA 5050 sobre modelos publicación/suscripción (Pub/Sub). VDA 5050 especifica la semántica común para el intercambio de órdenes, acciones y estados entre el gestor de la flota y los robots móviles, mientras que modelos Pub/Sub como MQTT aportan un mecanismo de comunicación desacoplado mediante bróker (Verband der Automobilindustrie e.V. and Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V., 2022).

Por su parte, en el ámbito del entorno robótico, ROS 2 proporciona una base modular para organizar el software del robot mediante nodos, tópicos, servicios y acciones

(Macenski et al., 2022). Así, es necesario un conector ROS-VDA 5050 (Figura 1) que enlace dicho entorno robótico con la comunicación VDA 5050 (NVIDIA Corporation, 2026; Open Robotics, n.d.).

En cuanto a la representación digital del FM, siguiendo el enfoque determinado por SMIA, esta se describe mediante un AAS enriquecido con el modelo CSS. El AAS permite representar la información administrativa del activo, mientras que CSS facilita la expresión de las capacidades que la flota ofrece al resto del sistema de forma modular. SMIA utiliza esta descripción para automatizar la generación de un gemelo digital operativo implementado como agente industrial, capaz de interactuar con otros agentes mediante patrones peer-to-peer basados en FIPA-ACL (Hurtado et al., 2025; Industrial Digital Twin Association e.V., 2024). Ese gemelo digital se concreta en el SMIA FM, implementado mediante los mecanismos de extensión nativos de SMIA para permitir la representación de la flota como activo agregado, es decir, como un conjunto de robots.

Se puede concluir que el agente SMIA FM materializa esta representación digital de activo agregado, conservando su descripción semántica y encapsulando la lógica necesaria para coordinar misiones de transporte sobre la flota modelada. La relación complementaria entre AAS y VDA 5050 es fundamental para la propuesta. El AAS no redefine los mensajes con la flota, sino que conserva la información necesaria, delegando en VDA 5050 la especificación de esta interacción para que el agente pueda operar sobre ella. Así, VDA 5050 se presenta como estándar transversal, integrándose en todas las fases del ciclo de vida del FM.

3. Extensión de SMIA para FM

Esta sección aborda la extensión de SMIA realizada para lograr el gemelo digital de un FM como activo agregado. En el ámbito de modelado, el FM se configura mediante un AAS que recoge, a través de sus submodelos: la descripción del activo, la configuración de la flota y las interfaces necesarias para su conectividad. Desde una perspectiva funcional, la propuesta usa los mecanismos de extensión nativos de SMIA para ampliar su núcleo en dos direcciones complementarias sin modificarlo. Como se muestra en la Figura 2, esta extensión permite incorporar la lógica específica necesaria para el FM en su agente, incluyendo el aprovisionamiento de la flota, la evaluación de robots y la gestión de misiones. De esta forma, el modelado del FM y la lógica de agente extendida permiten cubrir semántica y operativamente las fases de configuración, aprovisionamiento y operación del ciclo de vida del FM.

3.1 AAS: Modelado del Fleet Manager como Activo Digitalizado Agregado

El FM se modela desde dos puntos de vista: 1) como gestor de la flota, encargado de supervisar su estado y gestionar las misiones asignadas; y 2) como activo agregado que ofrece servicios de transporte al sistema de fabricación.

En relación con el primer punto de vista, se busca describir el conjunto de robots móviles como una unidad con identidad, configuración, funcionalidades e interfaces propias. El AAS recoge la información estandarizada que SMIA FM necesita para operar la flota: identidad de los robots conocidos, destinos válidos, reglas generales de operación y datos de conexión con el ámbito robótico (Verband der Automobilindustrie e.V. and Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V., 2022).

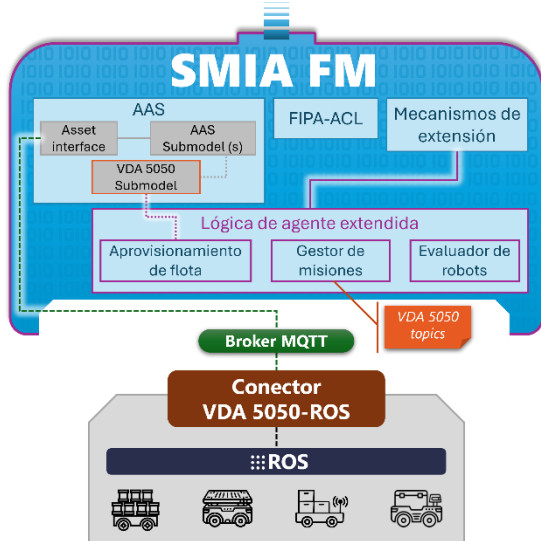


Figura 2: SMIA FM - Extensión de la aproximación SMIA para el FM.

Para cubrir esta configuración dentro del AAS se ha definido el submodelo denominado *FleetConfiguration*, que recoge la información necesaria para que SMIA FM pueda identificar y operar la flota. Por una parte, el submodelo incorpora la estructura establecida por VDA 5050 para identificar a cada robot dentro de la interfaz de comunicación Pub/Sub: el nombre de la interfaz (*interfaceName*), la versión del estándar (*majorVersion*), el fabricante (*manufacturer*) y el número de serie del vehículo móvil (*serialNumber*). Estos parámetros permiten a SMIA FM configurar los canales de comunicación de cada robot conforme a la estructura propuesta por VDA 5050, estableciendo así los tópicos MQTT necesarios para la interacción del FM con la flota durante el aprovisionamiento. Además, se incorpora información relativa a la configuración operativa de cada robot: *RobotId*, como identificador interno dentro de la flota; *ValidDestinations*, que recoge el conjunto de nodos logísticos permitidos (p. ej., base, carga y descarga); y *HomeBase*, como la posición inicial o de recarga.

Para la configuración del bróker MQTT que habilita la comunicación FM-robots, se recoge el *Asset Interfaces Description* como submodelo estándar propuesto por IDTA para la definición de interfaces de activos (Industrial Digital Twin Association (IDTA), 2024).

Esta decisión de diseño permite conectar el agente del FM con la operación real de la flota mediante la integración de ambos estándares. El AAS describe qué robots forman parte de la flota y qué información necesita el gestor para comunicarse con ellos, mientras que VDA 5050 mantiene su papel como estándar de intercambio de órdenes, estados y acciones durante la operación.

El segundo punto de vista se basa en el enriquecimiento del AAS del activo FM por parte del modelo CSS, donde se representan los servicios logísticos que la flota ofrece al sistema de fabricación. El modelo CSS propone una arquitectura desacoplada mediante los conceptos *capability* (descripción), *skill* (implementación) y *skills parameters* (Köcher et al., 2023). La *capability* principal *ManageTransportMission* permite a cualquier activo del sistema solicitar un servicio logístico sin conocer su gestión interna (qué robot lo realizará o las órdenes VDA 5050 asociadas). Su implementación se realiza mediante la *skill ProcessTransportMissionRequest*, como parte de la lógica de agente extendida. Además, se contempla la posibilidad de solicitar información actualizada del estado de la flota mediante la capacidad *RefreshFleetStateService*.

Un aspecto relevante de este modelado es que permite aprovechar la abstracción que ofrece el modelo CSS para desacoplar las descripciones de las capacidades del activo agregado de su implementación. En SMIA FM, al representar un gestor, no se implementan servicios físicos ofrecidos directamente por un robot individual, sino mediante la lógica del propio agente, capaz de coordinar la flota y traducir solicitudes externas en misiones operativas.

3.2 SMIA FM: Aprovisionamiento y Operación

La lógica añadida mediante los mecanismos de extensión nativos de SMIA permite cubrir también las fases de aprovisionamiento y operación. Para ello, se ha incorporado código específico del dominio de gestión de flotas, capaz de interpretar la configuración del FM, inicializar la información de los robots definidos y atender solicitudes de transporte durante la operación. Estos mecanismos permiten implementar la lógica extendida a través de un comportamiento que se ejecuta de forma asíncrona junto al resto de comportamientos inherentes al núcleo de SMIA (Hurtado et al., 2026).

En la fase de aprovisionamiento, SMIA FM interpreta el submodelo *FleetConfiguration* como parte del AAS para inicializar la flota y preparar las estructuras necesarias para operar. Durante este análisis se extrae la información necesaria de cada robot móvil para el aprovisionamiento de la flota. Como se muestra en la Figura 3, se obtiene la identificación de cada robot a partir de la estructura establecida por VDA 5050, obteniendo los tópicos de comunicación para el modelo Pub/Sub (*interfaceName/majorVersion/manufacturer/serialNumber/topic*). Desde el punto de vista del FM, los tópicos *order* e *instantActions* se utilizan para publicar órdenes y acciones inmediatas hacia el robot seleccionado, mientras que *state*, *connection* y *factsheet* permiten recibir información sobre la ejecución, conectividad y características técnicas del robot.

En particular, *factsheet* complementa la configuración ofreciendo información técnica específica de cada robot. Para obtenerla, SMIA FM publica una acción *factsheetRequest* en el tópico *instantActions*, para que, posteriormente, el robot publique su información en el tópico *factsheet*.

Adicionalmente, se ejecuta el proceso de autoconfiguración inherente del enfoque SMIA (Hurtado et al., 2025), donde el AAS se analiza en base a su enriquecimiento por el modelo CSS, identificando la

información funcional a partir de los submodelos (capacidades, skills e interfaces definidas) (Köcher et al., 2023). A partir de esta información administrativa del activo (en este caso la flota), se genera automáticamente su gemelo digital, preparado para recibir solicitudes FIPA-ACL desde otros agentes SMIA (Hurtado et al., 2026).

En la fase de operación, la extensión permite que SMIA FM actúe como punto de entrada de las solicitudes logísticas realizadas por otros agentes del sistema. De esta forma, es capaz de interpretar las comunicaciones entre agentes SMIA, las cuales están semánticamente enriquecidas mediante FIPA-ACL, donde se indica el acto comunicativo (*performative*) o el significado de los datos (*ontology*), entre otros (Foundation for Intelligent Physical Agents, 2002).

Como se ilustra en la Figura 3, la lógica de gestión de misiones se realiza en base al estado de la flota y de sus robots. Cuando se recibe una solicitud de *ManageTransportMission*, SMIA FM interpreta la solicitud recibida y crea una misión interna en base al destino especificado en los parámetros de la skill. Después, evalúa su viabilidad y la disponibilidad de la flota, inicializando las misiones según el estado de la flota lo permita. Si no es posible lanzarla (p. ej., porque no hay robots disponibles), la misión queda en cola hasta que pueda ser asignada.

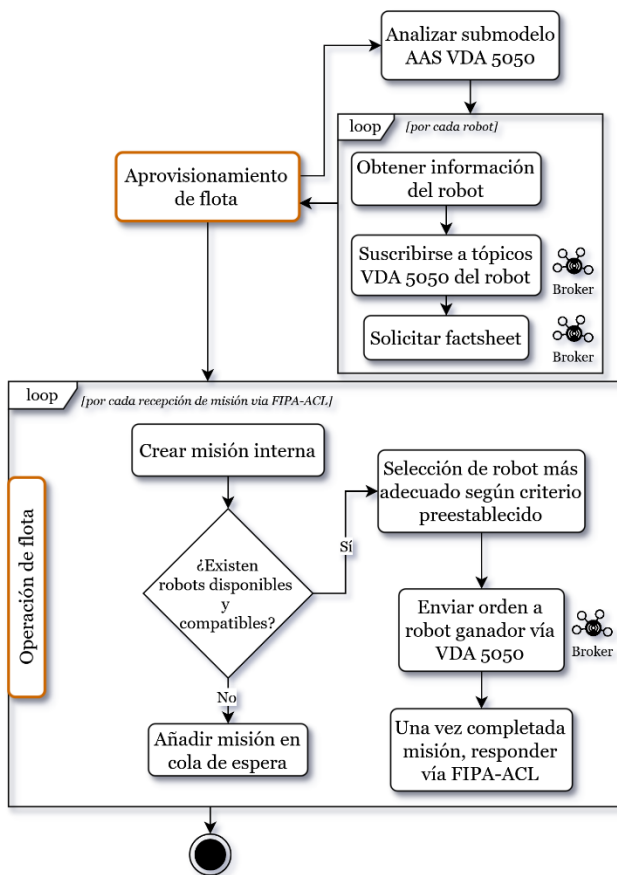


Figura 3: Ciclo de vida de SMIA FM

Cada misión se materializa mediante el intercambio normalizado de mensajes VDA 5050. La misión comienza con la identificación del robot más adecuado para realizar el

transporte. Primero, se filtran los robots que no están realmente disponibles por diferentes razones: no están conectados, presentan errores, mantienen una orden activa o están reservados internamente. Las reglas de asignación entre los candidatos restantes se basan en un criterio preestablecido, donde en una primera aproximación se ha optado por el robot con mayor nivel de batería. Esta regla permite comprobar que el FM interpreta el estado de la flota antes de publicar una orden, en lugar de actuar como un simple emisor de mensajes.

Una vez determinado el robot encargado de la tarea de transporte, se envía la orden publicando en su tópico *order* concreto. Si se requieren acciones inmediatas durante la realización, se usa el tópico *instantActions*. El seguimiento de la misión se realiza con la información obtenida desde los tópicos *state* o *connection* publicados por el robot.

Finalmente, cuando finaliza la misión, se envía la respuesta al agente SMIA solicitante mediante comunicación peer-to-peer basada en FIPA-ACL. Mediante el acto comunicativo (*performative*) se indica el estado de la misión: informar de su finalización (*inform*) o indicar si se ha producido algún error (*failure*).

De esta forma, SMIA FM mantiene una visión interna de los robots definidos y conserva la relación entre la intención recibida, el robot asignado, la orden enviada y el estado de ejecución. El ciclo de una misión se gestiona de forma progresiva, desde su registro hasta su finalización, actualizándose a partir de los mensajes de estado recibidos desde los robots para distinguir si una misión está pendiente, asignada, en ejecución, completada o interrumpida.

4. Caso de uso

Para validar la viabilidad técnica y operativa de la propuesta, se define un caso de uso en el marco de un entorno simulado, ya que el objetivo no es obtener métricas de rendimiento ni comparar algoritmos de asignación. Se busca comprobar que SMIA FM puede aprovisionarse a partir de la descripción estandarizada de la flota como activo, recibir solicitudes logísticas desde el sistema de fabricación y transformarlas en órdenes ejecutables sobre robots móviles simulados.

Para la comunicación FM-flota basada en VDA 5050 se ha empleado MQTT como modelo Pub/Sub, implementado mediante un bróker Mosquitto. Los robots se han implementado en TurtleBot3 dentro de un entorno de simulación con ROS 2 Jazzy (Open Robotics, n.d.), junto con el software open-source Isaac ROS Mission Client (NVIDIA Corporation, 2026) como conector VDA 5050-ROS. Para desplegar SMIA FM en el entorno agente, se ha desarrollado el AAS enriquecido con el modelo CSS, incluyendo la definición tanto de la flota del entorno ROS simulado como su interfaz MQTT. Las solicitudes de transporte desde el sistema de fabricación se realizan mediante un agente denominado SMIA Operator (Ekaitz Hurtado, 2026), que proporciona una interfaz gráfica que permite interactuar con los agentes desplegados, abstrayendo por completo la complejidad del lenguaje FIPA-ACL, las órdenes VDA 5050 o los mensajes MQTT asociados.

Una vez configurados los entornos y desplegados los agentes, durante el aprovisionamiento SMIA FM obtiene la

información necesaria para operar sobre la flota desde el AAS: robots conocidos, canales de comunicación MQTT basados en VDA 5050 y capacidades expuestas. A partir de este proceso, la validación funcional comienza con el envío de una solicitud de la capacidad *ManageTransportMission* desde SMIA Operator a SMIA FM, especificando el destino requerido. Las órdenes VDA 5050 necesarias para la gestión de la misión se publican en Mosquitto en el tópico correspondiente, donde son recibidas y transformadas por Isaac ROS Mission Client en mensajes ROS. Durante la ejecución, SMIA FM recibe el estado del robot mediante mensajes VDA 5050, permitiendo actualizar el estado de la misión y mantener la trazabilidad.

También se han comprobado acciones de interrupción como cancelación y parada, así como situaciones de indisponibilidad del robot y de conexión con el bróker. De esta forma, se verifica que SMIA FM no actúa como un simple emisor de órdenes, sino como una entidad capaz de coordinar misiones y robots, manteniendo un estado actualizado tanto de la flota como de las órdenes enviadas.

El caso de uso demuestra que la propuesta se ha materializado en un prototipo operativo, donde el FM queda representado como un activo agregado dentro del sistema de fabricación basado en SMIA, se aprovisiona a partir de su descripción y opera sobre el entorno robótico abstrayendo de los detalles internos de comunicación. La validación en el entorno simulado permite comprobar la viabilidad de la integración propuesta y de su lógica de gestión interna.

5. Conclusiones

Este trabajo presenta una aproximación basada en estándares para la integración interoperable de FMs, abordando su ciclo de vida completo. La propuesta demuestra que un FM puede representarse como un activo industrial agregado, permitiendo conectar su descripción formal con su integración efectiva dentro del sistema de fabricación y su posterior operación sobre flotas robóticas heterogéneas.

La ventaja de modelar la flota como activo agregado radica en permitir al sistema de fabricación solicitar servicios logísticos abstrayendo de la gestión interna. La adopción de VDA 5050 sobre MQTT normaliza la comunicación, permitiendo que la capa SMIA asuma proactivamente la lógica de decisión y coordinación.

El caso de uso valida la viabilidad funcional de la propuesta y la robustez del ciclo operativo del FM. Se comprobó exitosamente su funcionamiento principal: recepción de solicitudes logísticas, gestión de misiones, selección del robot y publicación de órdenes VDA 5050. Además, se verificó la navegación simulada y su seguimiento continuo mediante mensajes de estado. Esto confirma que SMIA FM coordina activamente las misiones y conserva su trazabilidad.

Así, la interacción autónoma entre activos industriales representados por agentes, apoyada en estándares FIPA-ACL, abre la puerta a la orquestación integral de almacenes inteligentes. Esta coordinación distribuida trasciende la mera

conectividad operativa, sentando las bases para desplegar sistemas adaptables y resilientes ante incidencias logísticas.

Como trabajo futuro, se plantea extender la lógica de coordinación incorporando mecanismos avanzados de negociación, optimización y colaboración entre múltiples flotas, así como validar la propuesta sobre entornos físicos heterogéneos e integrarla con plataformas FM existentes.

Agradecimientos

Este trabajo se ha financiado en parte por el Gobierno Vasco (GV/EJ) bajo el proyecto ELKARTEK KK-2025/00035, por la Universidad del País Vasco (EHU) [número de subvención PIF23/223], y por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional bajo el proyecto POCTEFA 2021-2027 EFA030/01 AgriPower.

Referencias

- AMR fleet management: AI as a driver of efficiency [WWW Document], n.d. . KUKA Germany. URL <https://www.kuka.com/en-de/products/amr-autonomous-mobile-robotics/amr-fleet-management-software> (accessed 5.13.26).
- Ekaitz Hurtado, 2026. SMIA Operator [WWW Document]. URL https://github.com/ekhurtado/SMIA/tree/main/additional_tools/smia_operator_agent (accessed 1.25.26).
- Engra, n.d. LOGIBLOCK | Plataforma modular para PYMEs - Robotnik®. Robotnik. URL <https://robotnik.eu/es/projects/logiblock/> (accessed 5.13.26).
- Foundation for Intelligent Physical Agents, 2002. FIPA Abstract Architecture Specification.
- Hurtado, E., Burgos, A., Armentia, A., Casquero, O., 2025. Self-configurable Manufacturing Industrial Agents (SMIA): a standardized approach for digitizing manufacturing assets. *J. Ind. Inf. Integr.* 47, 100915. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2025.100915>
- Hurtado, E., Sarachaga, I., Armentia, A., Casquero, O., 2026. An open-source reference framework for the implementation of type 3 Asset Administration Shells. *Software Impacts* 27, 100807. <https://doi.org/10.1016/j.simpa.2025.100807>
- Industrial Digital Twin Association e.V., 2024. Specification of the Asset Administration Shell. Part 1: Metamodel.
- Industrial Digital Twin Association (IDTA), 2024. IDTA 02017-1-0 Asset Interfaces Description.
- Köcher, A., Belyaev, A., Hermann, J., Bock, J., Meixner, K., Volkmann, M., Winter, M., Zimmermann, P., Grimm, S., Diedrich, C., 2023. A reference model for common understanding of capabilities and skills in manufacturing. *at - Automatisierungstechnik* 71, 94–104. <https://doi.org/10.1515/auto-2022-0117>
- Macenski, S., Foote, T., Gerkey, B., Lalancette, C., Woodall, W., 2022. Robot Operating System 2: Design, architecture, and uses in the wild. *Sci. Robot.* 7, eabm6074. <https://doi.org/10.1126/scirobotics.abm6074>
- MiR Fleet [WWW Document], n.d. URL <https://mobile-industrial-robots.com/es/productos/software/mir-fleet> (accessed 5.13.26).
- NVIDIA Corporation, 2026. isaac_ros_mission_client [WWW Document]. Isaac ROS. URL https://nvidia-isaac-ros.github.io/repositories_and_packages/isaac_ros_cloud_control/isaac_ros_mission_client/index.html (accessed 5.7.26).
- Open Robotics, n.d. ROS 2 Documentation: Jazzy documentation [WWW Document]. ROS 2 Documentation. URL <https://docs.ros.org/en/jazzy/index.html> (accessed 5.7.26).
- Sakurada, L., De La Prieta, F., Leitao, P., 2025. The Role of Multi-Agent Systems in Realizing Asset Administration Shell Type 3. *Future Internet* 17, 270. <https://doi.org/10.3390/fi17070270>
- Verband der Automobilindustrie e.V., Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V., 2022. Interface for the communication between automated guided vehicles (AGV) and a master control.