

# TRAZABILIDAD DE LA PRODUCCIÓN BASADA EN AGENTES INDUSTRIALES

A. López\*, E. Estévez\*\*, M. Marcos\*

\*Dept. Ingeniería de Sistemas y Automática, UPV/EHU, España  
e-mail: {alejandro.lopez, marga.marcos}@ehu.eus

\*\*Dept. Ingeniería Electrónica y Automática EPS de Jaén, España  
e-mail: eestevez@ujaen.es

## Resumen

*Uno de los principios fundamentales de la Industria 4.0 consiste en poner en valor los datos que se generan en una fábrica para extraer rendimiento de ellos. Estos datos pueden servir a diferentes finalidades, siendo la trazabilidad una de las más relevantes porque se demanda a todos los niveles, desde el cliente hasta el nivel de gestión de la empresa. Los agentes industriales suponen una buena alternativa para implementar la trazabilidad en planta por su capacidad de colaborar intercambiando información para cumplir sus objetivos. En este artículo, los autores proponen una solución basada en agentes industriales para realizar la trazabilidad en tiempo real de la producción a diferentes niveles (lote de fabricación, pedido de cliente, y fábrica) de forma desacoplada, para optimizar la gestión de la información y los servicios derivados de la trazabilidad a cada uno de los niveles.*

**Palabras clave:** Industria 4.0, Trazabilidad, Sistemas Ciber-Físicos, Agentes Industriales, Sistemas de Fabricación Flexible.

## 1 INTRODUCCIÓN

La industria se encuentra en un momento de profunda transformación que diferentes organizaciones coinciden en identificar como la cuarta revolución industrial o Industria 4.0 [2]. Ante la globalización de los mercados, la incertidumbre económica y la exigencia cada vez mayor de los clientes, el paradigma de la Industria 4.0 propone el uso de tecnologías como inteligencia artificial, big data, simulación, sistemas ciber-físicos o el internet de las cosas aplicado a la industria para conseguir sistemas de fabricación inteligentes y descentralizados [13].

Uno de los principios fundamentales de la Industria 4.0 consiste en poner en valor los datos que se generan en una fábrica para extraer rendimiento de ellos. La información obtenida de la fábrica puede tener diferentes finalidades, como la optimización de un

proceso [16], el mantenimiento de la maquinaria [11], o la trazabilidad de los productos a lo largo de todo su ciclo de vida [12]. Este último aspecto es sensible porque se trata de uno de los más demandados en la actualidad por los clientes, que quieren hacer un seguimiento estrecho de los productos que han encargado, pero a la vez es relevante para los operarios a nivel de proceso, y para las fábricas a nivel de planificación.

Una buena trazabilidad requiere de gran agilidad a la hora de intercambiar datos entre los diferentes activos de la fábrica que generan (e.g., máquinas, transportes, etc.) o consumen (e.g., un MES u otras entidades vinculadas a la monitorización del proceso) datos. Estos requisitos se pueden cumplir mediante la implementación de arquitecturas basadas en el concepto de sistemas ciber-físicos. Un sistema ciber-físico es un componente formado por una parte física (por ejemplo, un robot industrial), que ofrece y demanda servicios a su entorno, y una parte virtual, que representa a la parte física en el sistema de activos interconectados y le permite interactuar con otros componentes de la fábrica. Los sistemas ciber-físicos deben garantizar una serie de funcionalidades: interoperabilidad entre los participantes en el sistema (R1); identificación del componente (R2); representación del estado de la parte física (R3) y accesibilidad de otros componentes a esa información (R4); integración entre sus partes virtual y física (R5); y, por último, gestión de los servicios que ofrece (R6) [19].

Los sistemas multi-agente son una tecnología ampliamente reconocida en la literatura para implementar arquitecturas basadas en sistemas ciber-físicos, gracias a su capacidad para competir y colaborar con otros agentes del sistema para conseguir sus objetivos [7]. El uso de sistemas multi-agente solo garantiza un cumplimiento parcial de estos requisitos (R1-R4), ya que un agente es únicamente una entidad software, y no contempla mecanismos específicos para la integración con activos industriales y su gestión. De esta necesidad surge el concepto de agente industrial. Un agente industrial es un agente que integra un activo físico [5], por lo que satisface los

requisitos restantes de integración (R5) y gestión (R6) del activo.

En este artículo, los autores proponen una solución basada en agentes industriales para proporcionar trazabilidad en el proceso de fabricación a tres niveles: trazabilidad orientada al producto o lote de productos que constituyen una unidad indivisible a lo largo del proceso; trazabilidad orientada al cliente, monitorizando el conjunto de lotes que constituyen una orden o pedido; y trazabilidad orientada a la fábrica, que registra toda la información relativa a un plan de fabricación. Se propone que la trazabilidad sea gestionada a cada uno de los niveles por agentes industriales con una dependencia jerárquica entre sí. De esta manera, la gestión de la información y los servicios derivados de la trazabilidad a cada uno de los niveles queda desacoplada, permitiendo una gestión más eficiente de la información que circula por la fábrica.

El resto del artículo está organizado de la siguiente manera: el apartado 2 revisa otros trabajos basados en tecnología de agentes orientados a trazabilidad de la producción; el apartado 3 presenta la solución desarrollada por los autores; el apartado 4 ilustra esta propuesta mediante un caso de estudio que consiste en un proceso de ensamblado; finalmente, el apartado 5 cierra el trabajo con las conclusiones de los autores y las líneas de trabajo a futuro.

## 2 TRABAJOS RELACIONADOS

El objetivo de este apartado es revisar trabajos que presenten arquitecturas basadas en sistemas multi-agente, con especial atención al trato que dan a la problemática de la trazabilidad.

Los sistemas multi-agente han sido utilizados con frecuencia para el desarrollo de sistemas de fabricación flexibles con inteligencia distribuida a lo largo de las dos últimas décadas, presentando algunas arquitecturas de referencia como PROSA [17], o ADACOR [8], y más recientemente ejemplos como CASOA [15] o la arquitectura propuesta por Cruz Salazar et al. [3]. Estas soluciones proponen diferentes conjuntos de agentes que desarrollan tareas específicas e interactúan con el resto de agentes en el sistema para alcanzar sus objetivos [14].

La mayoría de estos trabajos comparten la presencia de un par de agentes básicos para gestionar un proceso de fabricación: un tipo de agente dedicado a representar los servicios y necesidades de los recursos disponibles en la fábrica (suele aparecer como Resource Agent –RA- o bien como Machine Agent –MA-), y otro dedicado a gestionar el producto o lote de productos (normalmente denominado Product Agent –PA-) [4],[6]. El RA se encarga de interactuar

con su activo, representando su estado y ofreciendo sus servicios al resto de agentes del sistema. Bennulf et al. en [1] proponen un RA que se postula en las negociaciones de los servicios que puede ofrecer y gestiona una pila con las tareas que tiene asignadas. Esta propuesta de RA es similar en la mayoría de los trabajos analizados [4], [6].

Por otra parte, PA se dedica a realizar la trazabilidad de su activo, que puede tener diferente granularidad dependiendo de cada caso. Dentro de este tipo de agentes, se puede distinguir entre las soluciones pasivas (i.e., aquellas en las que el PA simplemente recibe información y la procesa) [1] y las activas, en las que el PA guía el proceso de fabricación, identificando los recursos de los que dispone en su entorno para completar el siguiente paso en su proceso de fabricación [4], [10]. También se puede diferenciar entre aquellas soluciones que realizan la trazabilidad únicamente a nivel de producto [1], [6], y las que tienen trazabilidad a más niveles. Vrba et al. [18] plantean, además del PA, un agente de orden de fabricación (OA), que monitoriza una orden, entendida como un lote o conjunto de piezas, recibidos desde niveles superiores del sistema. Munkelt y Krockert [10] proponen una jerarquía similar, en la que se crea un agente asociado a cada orden de compra (OA), y de dicho agente dependen los agentes asociados a cada producto que conforma el pedido (PA).

Del análisis de estos trabajos se concluye que las soluciones basadas en sistemas multi-agente suelen contar con dos principales tipos de agentes: RA y PA. Además, se han encontrado trabajos que también plantean desacoplar la trazabilidad a diferentes niveles. Sin embargo, estas soluciones plantean una trazabilidad a dos niveles (producto y lote/pedido), mientras que, en opinión de los autores, un tercer nivel ligado al plan de fábrica resultaría beneficioso cuando fuera beneficioso adaptar el plan de fabricación a eventos sobrevenidos, como, por ejemplo, el fallo de algún activo de fabricación. Una trazabilidad basada en agentes a este nivel permite aumentar la agilidad tanto en la interacción con otras entidades de la fábrica como en la capacidad de toma de decisión, pudiendo asumir algunas de las funcionalidades tradicionalmente asociadas al MES.

## 3 PROPUESTA PARA LA TRAZABILIDAD DE LA PRODUCCIÓN

Este apartado presenta la propuesta de los autores para llevar a cabo una trazabilidad de la fabricación a tres niveles: producto/lote, cliente, y fábrica. En ella se detalla la relación entre los agentes asociados a cada uno de los niveles de trazabilidad y sus interacciones con los agentes recurso de la fábrica.

### 3.1 AGENTES RECURSO

Se han contemplado tres tipos diferentes en función del tipo de servicios que ofrecen, para poder gestionar la fábrica: máquinas (Machine Agent –MA-, ofrecen servicios de fabricación), transportes (Transport Agent –TA-, ofrecen servicios de transporte) y nodos de procesamiento (Processing Node Agent –PNA- ofrecen capacidad de alojar a otros agentes, ejecutar servicios de procesamiento de datos, etc.). Estos agentes son de carácter permanente, por lo que permanecen en funcionamiento de forma ininterrumpida desde su puesta en marcha hasta que el recurso al que están asociados sufre cualquier contingencia.

Durante el desarrollo de un proceso de fabricación, los MA notifican al agente de trazabilidad que corresponda los resultados de sus servicios de fabricación. Por otra parte, los agentes de trazabilidad se encargan de solicitar servicios de transporte a los TA para asegurarse de que los servicios de fabricación que necesitan se pueden ejecutar en tiempo y forma según lo planeado. Estas interacciones se analizan con mayor detalle en el subapartado 3.2.

La integración de estos agentes con sus activos está estructurada de acuerdo con una arquitectura de capas que permiten abstraer los diferentes aspectos implicados en la integración: una capa superior implementada en el agente, encargada de gestionar las interacciones con otros agentes del sistema; una capa intermedia, también implementada en el agente, que se encarga de gestionar los datos obtenidos del activo y su accesibilidad por parte de otros agentes; y dos capas inferiores, implementadas en el activo, que implementan la automatización y el control del este, respectivamente. Esta arquitectura ha sido propuesta en un trabajo anterior de los autores [9].

### 3.2 AGENTES DE TRAZABILIDAD

Como se ha explicado antes, se han definido tres niveles diferentes de granularidad en la trazabilidad, por lo que cada uno de esos niveles tiene su propio agente: la trazabilidad a nivel producto/lote la realiza el agente lote (Batch Agent –BA-), a nivel cliente el agente pedido (Order Agent –OA-) y a nivel de fábrica, el agente plan de fabricación (Manufacturing Plan Agent –MPA-).

A diferencia de los agentes recurso, estos agentes son de carácter transitorio: son creados cuando se inicia el proceso de fabricación al que están ligados, y posteriormente terminan su ejecución una vez que tienen toda la información del proceso. Además, muestran una dependencia jerárquica entre sí, de forma que un conjunto de lotes conforma un pedido, y un conjunto de pedidos forma un plan de fabricación.

De esta manera, los agentes de un nivel se encargan de gestionar la puesta en marcha de sus agentes hijo (los agentes del nivel inmediatamente inferior que dependen de él), en sentido descendente. Por el contrario, el flujo de la información es en sentido ascendente, de modo que los BA son los únicos que interactúan directamente con los agentes recurso de la fábrica, y éstos se encargan de reportar la información a sus agentes padre (el OA del que dependa cada uno y éstos a su vez al MPA).

La Figura 1 ilustra mediante un diagrama de secuencia el flujo de comunicaciones entre los agentes de trazabilidad. Como se ha explicado antes, un BA puede realizar la trazabilidad de un lote de productos o de un único producto (lote unitario). El proceso de fabricación monitorizado por un BA se corresponde con una secuencia de uno o más servicios de fabricación, que pueden ser realizados por una o varias máquinas, gestionadas por sus MA. Durante la ejecución de un servicio, el MA envía un mensaje al BA correspondiente cada vez que se procesa un ítem (1), y el BA actualiza su estado con la información recibida (2). Esta dinámica se repite hasta que el servicio se ha completado.

Una vez completado el servicio, el MA actualiza su listado de servicios a realizar (3) y notifica al BA de que el servicio ha concluido. Cada vez que el BA tiene toda la información sobre un servicio de fabricación, esta es enviada al OA (4). De este modo, el estado del OA se actualiza cada vez que un lote completo ha completado una etapa de su proceso de fabricación (5).

En caso de que queden servicios pendientes de realizar para completar el proceso de fabricación, el BA solicita una negociación entre los TA disponibles para trasladar el lote de productos desde la máquina en la que se encuentra hasta la máquina que debe realizar el siguiente servicio de fabricación (6). El TA ganador de la negociación informa al BA de que él es que va a proporcionar el servicio de fabricación (7). Una vez trasladado el lote, informa por un lado al BA de que se ha completado el servicio, y por otro al MA que tiene que realizar el siguiente servicio de que ya ha recibido el lote de productos (8). Cuando finaliza el proceso de fabricación, el BA que monitoriza este proceso informa al OA correspondiente y se auto elimina del sistema (9).

En el momento en que el OA tiene toda la información relativa a un lote (i.e., cada vez que se termina de fabricar un lote), envía esta información al MPA (10). Así, a este nivel la información se actualiza cada vez que un lote ha concluido su proceso de fabricación (11). Cuando todos los lotes que conforman un pedido se han completado, el OA que monitoriza este pedido informa al MPA y se auto elimina del sistema (12). Por último, cuando el MPA ha recibido la información

relativa a todos los pedidos que forman el plan de fabricación, el plan se da por concluido y el MPA también se auto elimina del sistema (13).

pero no así el resto de las funcionalidades que pueden desarrollar cada uno de ellos, y que son dependientes del caso concreto, como se ilustra en el siguiente apartado de este trabajo.

Cabe destacar que en esta secuencia solo se explican las interacciones entre los diferentes tipos de agentes,

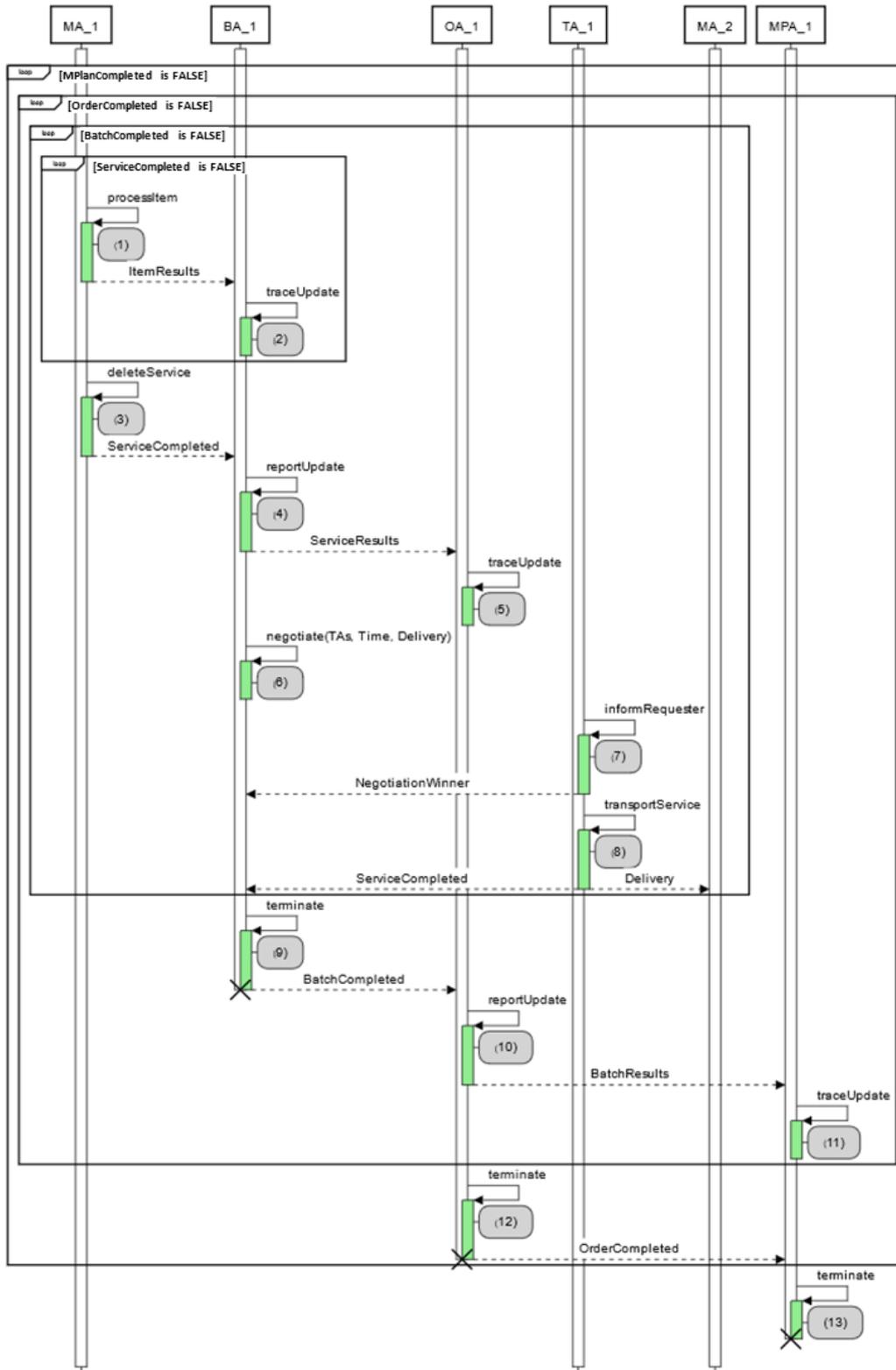


Figura 1 Secuencia de interacción entre los agentes industriales para la trazabilidad de la producción

## 4 CASO DE ESTUDIO

En este apartado se particulariza la solución de trazabilidad propuesta por los autores para monitorizar un proceso de fabricación en el que dos estaciones robotizadas trabajan en paralelo en operaciones ensamblado.

### 4.1 DESCRIPCIÓN DEL DEMOSTRADOR

El demostrador industrial utilizado en este caso de estudio se compone de los siguientes elementos:

- Estación de ensamblado real: Esta estación, representada en la Figura 2, consta de un robot KUKA KR 3 R540 que realiza el montaje de diferentes modelos de eje para motores paso a paso. Este robot está gestionado por un controlador compacto KUKA KR C4 y un controlador abierto Siemens SIMATIC ET 200SP. La particularidad de este dispositivo es que cuenta por un lado con un controlador de software que permite la ejecución de programas de automatización que cumplen con IEC 61131-3, y por otro con un entorno Windows que permite la ejecución de agentes.

- Gemelo digital: Se cuenta con una réplica virtual idéntica a la estación de trabajo de la Figura 2, desarrollada mediante la herramienta Tecnomatix Process Simulation de Siemens. Esta estación simulada se controla desde una instancia virtual de PLC generada mediante la herramienta PLCSIM Advanced, por lo que la integración de esta estación con su respectivo MA es idéntica a la utilizada con la estación real.

- Clúster de procesamiento: Por último, se cuenta con un clúster equipado con hasta 14 placas Raspberry Pi dedicadas en este caso al despliegue de los agentes de trazabilidad.

### 4.2 DESARROLLO DEL ESCENARIO

Partiendo de la solución descrita en el apartado 3, se han dado tres pasos para su particularización para este caso de estudio: en primer lugar, se ha definido qué información se va a leer por cada ítem fabricado en las estaciones de ensamblado; en segundo lugar, se han definido las funcionalidades adicionales de cada uno de los agentes industriales que participan en esta demostración; por último, se ha definido el escenario a probar en este caso de estudio.



Figura 2 Estación de ensamblado real

- Datos de trazabilidad: en este ejemplo ilustrativo, se propone recoger los datos de trazabilidad indicados en la Tabla 1, los cuales identifican el sub-producto sobre el que se ha realizado una operación concreta, la estación que la ha realizado y la marca de tiempo en que se ha producido.

- Funcionalidades adicionales: para este ejemplo, se ha contemplado la posibilidad de que los OA puedan recibir solicitudes en tiempo real de información relativas al estado del pedido que supervisan. Por otra parte, también se ha determinado que el MPA debe generar un fichero de texto estructurado que contenga toda la información que ha recogido sobre el estado del plan de fabricación una vez este ha concluido.

- Escenario de pruebas: para ilustrar el funcionamiento de la solución de trazabilidad propuesta, se ha decidido ejecutar un plan de fabricación que cuenta con un único pedido, y que a su vez cuenta con dos lotes de fabricación. Estos lotes se fabrican en una única etapa (un único servicio de fabricación), y cada uno de ellos ha sido asignada una estación diferente.

Tabla 1 Información de proceso recogida en la estructura de datos

Nombre	Descripción
Machine_Reference	Referencia de la máquina
Order_Reference	Referencia del pedido
Batch_Reference	Referencia del lote
Ref_Subproduct_Type	Referencia del subproducto
Ref_Service_Type	Referencia del servicio (operación)
Item_Number	Número del ítem completado
Initial_Time_Stamp	TimeStamp de inicio del ítem
Final_Time_Stamp	TimeStamp de final del ítem
Service_Time_Stamp	TimeStamp de inicio del servicio

Los agentes utilizados en este caso de uso han sido implementados mediante la plataforma de sistemas multi-agente de código abierto JADE. Además de dar soporte para el desarrollo de sistemas multi-agente, JADE proporciona herramientas como el JADE sniffer, una herramienta gráfica que permite visualizar el intercambio de mensajes entre los agentes del sistema durante el proceso, así como su contenido. La Figura 3 muestra parte del intercambio de mensajes como resultado de probar el escenario descrito, con detalle del contenido del mensaje enviado por un MA a su correspondiente BA al terminar un ítem.

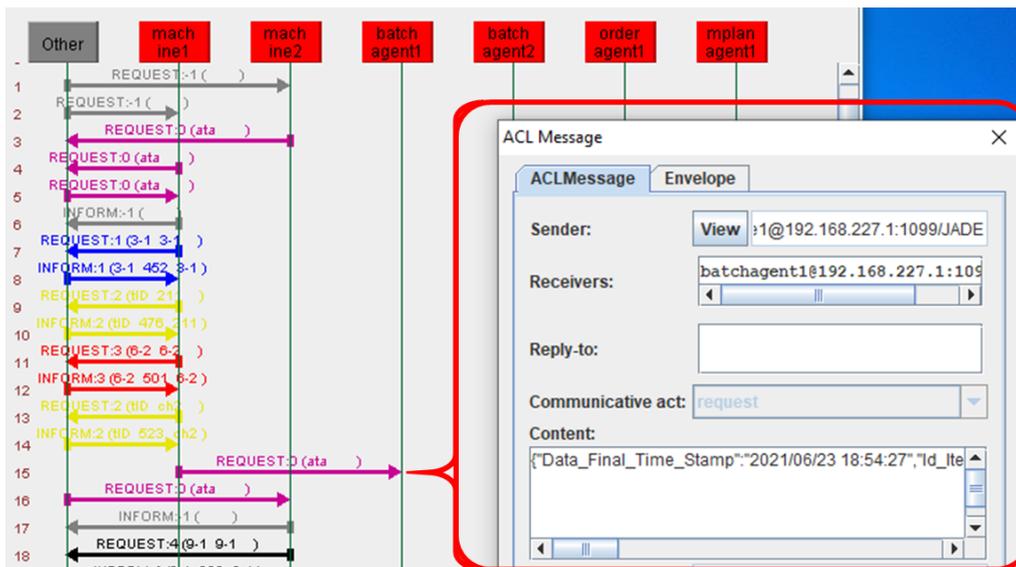


Figura 3 Detalle del intercambio de mensajes y su contenido mediante la herramienta JADE sniffer

## 5 CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En este trabajo se ha propuesto una solución basada en agentes industriales para garantizar la trazabilidad de la fabricación a diferentes niveles. Para ello, se han definido unos agentes tipo para gestionar los recursos de fábrica y ofrecer servicios necesarios para llevar a cabo los procesos de fabricación, y otros agentes tipo destinados a la trazabilidad en cada uno de los niveles. Además, se han definido las interacciones entre estos tipos de agentes para poder llevar a cabo el proceso de fabricación.

Sin embargo, esta solución solo cubre las interacciones en un escenario de funcionamiento ideal, sin imprevistos como podrían ser la falta de materias primas, retrasos en la planificación, o averías en las estaciones de trabajo. En este sentido, los autores trabajarán en el futuro en la definición y desarrollo de agentes que den soporte en la resolución de estos problemas para permitir una gestión de la fabricación de manera flexible.

### Agradecimientos

Este trabajo está financiado por MCIU/AEI/FEDER, UE (proyecto RTI2018-096116-B-I00) y GV/EJ (proyecto IT1324-19).

### English summary

## MANUFACTURING TRACEABILITY BASED ON INDUSTRIAL AGENTS

### Abstract

*One of the main principles of Industry 4.0 is the obtention of added value from data generated during the manufacturing process. These data may serve to different purposes, being traceability one of the most relevant, since it is required at every level from customer to factory management. Industrial agents are a good alternative to implement traceability in the plant due to their ability to collaborate by exchanging information to meet their objectives. In this article, the authors propose a solution based on industrial agents to carry out the traceability of production at different levels (manufacturing batch, customer order, and factory) in a decoupled way, to optimize the management of information and services derived from traceability at each of the levels.*

**Keywords:** Industry 4.0, Traceability, Cyber-Physical Systems, Industrial Agents, Flexible Manufacturing Systems.

### Referencias

- [1] Bennulf, M., Danielsson, F., Svensson, B., Lennartson, B., (2020) Goal-oriented process plans in a multi-agent system for Plug & Produce, IEEE Transactions on Industrial Informatics.
- [2] Colombo, A.W., Karnouskos, S., Kaynak, O., Shi, Y., Yin, S., (2017) “Industrial Cyberphysical Systems: A Backbone of the Fourth Industrial Revolution”, *IEEE Industrial Electronics Magazine*, pp. 6-16.

- [3] Cruz Salazar, L.A., Ryashentseva, D., Lüder, A., Vogel-Heuser, B., (2019) Cyber-physical production systems architecture based on multi-agent's design pattern—comparison of selected approaches mapping four agent patterns, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*.
- [4] Jana, T.K., Bairagi, B., Paul, S., Sarkar, B., Saha, J., (2013) “Dynamic schedule execution in an agent based holonic manufacturing system”, *Journal of Manufacturing Systems*, pp. 801-816.
- [5] Karnouskos, S., Leitão, P., Ribeiro, L., Colombo, A.W., (2020) “Industrial Agents as a Key Enabler for Realizing Industrial Cyber-Physical Systems: Multiagent Systems Entering Industry 4.0”, *IEEE Industrial Electronics Magazine*, pp. 18-32.
- [6] Kovalenko, I., Tilbury, D., Barton, K., (2019) “The model-based product agent: A control oriented architecture for intelligent products in multi-agent manufacturing systems”, *IEEE Control Engineering Practice*, pp. 105-117.
- [7] Leitão, P., (2009) “Agent-based distributed manufacturing control: A state-of-the-art survey”, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, pp. 979-991.
- [8] Leitão, P., Restivo, F., (2006) ADACOR: A holonic architecture for agile and adaptive manufacturing control, *Computers in Industry*.
- [9] López, A., Casquero, O., Estévez, E., Leitão, P., Marcos, M., (2021) Towards the generic integration of agent-based AASs and Physical Assets: a four-layered architecture approach, aceptado para publicación en IEEE INDIN 2021.
- [10] Munkelt, T., Krockert, M., (2018) “Agent-based self-organization versus central production planning”, *Proceedings of the 2018 Winter Simulation Conference*, pp. 3241-3251.
- [11] Peres, R.S., Rocha, A.D., Leitão, P., Barata, J., (2018) IDARTS – “Towards intelligent data analysis and real-time supervision for industry 4.0”, *Computers in Industry*, pp. 258-262.
- [12] Platenius-Mohr, M., Malakuti, S., Grüner, S., Goldsch, T., (2019) “Interoperable Digital Twins in IIoT Systems by Transformation of Information Models: A Case Study with Asset Administration Shell”, *Proceedings of the 9th International Conference on the Internet of Things*, pp. 1-8.
- [13] Santos, C., Mehrsai, A., Barros, A.C., Araújo, M., Ares, E., (2017) Towards Industry 4.0: an overview of European strategic roadmaps, *Procedia Manufacturing*.
- [14] Shen, W., Hao, Q., Yoon, H.J., Norrie, D.H., (2006) “Applications of agent-based systems in intelligent manufacturing: An updated review”, *Advanced Engineering Informatics*, pp. 415-431.
- [15] Tang, H., Li, D., Wang, S., Dong, Z., (2018) “CASOA: An Architecture for Agent-Based Manufacturing System in the Context of Industry 4.0”, *IEEE Access*, pp. 12746-12754.
- [16] Vachálek, J., Bartalský, L., Rovný, O., Šišmišová, D., Morháč, M., Lokšík, M., Hoffmeister, M., Zimmermann, P., (2017) “The digital twin of an industrial production line within the industry 4.0 concept”, *2017 21st International Conference on Process Control (PC)*, pp. 258-262.
- [17] Van Brussel, H., Wyns, J., Valckenaers, P., Bongaerts, L., Peeters, P., (1998) “Reference architecture for holonic manufacturing systems: PROSA”, *Computers in Industry*, pp. 255-274.
- [18] Vrba, P., Tichý, P., Mařík, V., Hall, K.H., Staron, R.J., Maturana, F.P., Kadera, P., (2011) “Rockwell Automation's Holonic and Multiagent Control Systems Compendium”, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, pp. 14-30.
- [19] Ye, X., Hong, S.H., (2019) Toward Industry 4.0 Components: Insights Into and Implementation of Asset Administration Shells, *IEEE Industrial Electronics Magazine*.



© 2021 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-ncsa/4.0/deed.es>).