

ENTREGABLE 2.2

PROYECTOS—

2024-2025

Plataforma de comunicación entre dispositivos industriales, robots y accesorios. “CODIRA”

Entregable: E2.2. Informe publicable de resultados.

Programa: Proyectos de I+D en colaboración con empresas

Referencia proyecto: 22400054

Expediente: IMDEEA/2024/44

Duración: 07/2024 - 11/2025

Coordinado en AIDIMME por: Martín Silvestre, Antonio

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL PROYECTO2

2. EMPRESAS COLABORADORAS4

3. ACTIVIDADES REALIZADAS6

4. RESULTADOS OBTENIDOS17

5. CONCLUSIONES21

1. Introducción y objetivos del proyecto

El proyecto CODIRA (“Plataforma de comunicación entre dispositivos industriales, robots y accesorios”) nace con el objetivo de dar respuesta a uno de los principales retos de la Industria 4.0: la integración eficiente de robots, maquinaria, sensores y sistemas de información en entornos industriales altamente heterogéneos. En las plantas productivas actuales conviven múltiples fabricantes, tecnologías y protocolos de comunicación (OPC UA, Modbus, PROFINET, MQTT, EtherNet/IP, entre otros), lo que dificulta la interoperabilidad, incrementa la complejidad de las arquitecturas de control y eleva significativamente los costes de integración, mantenimiento y evolución de las instalaciones.

Si bien existen en el mercado pasarelas y plataformas genéricas de intercambio de datos entre protocolos, estas soluciones presentan carencias importantes desde el punto de vista industrial y, especialmente, en entornos con robótica. En la mayoría de los casos, dichas plataformas se limitan a realizar una traducción básica de datos entre protocolos, actuando como simples “conversores” o gateways, sin incorporar capacidades avanzadas de gestión, análisis o control. No suelen contemplar la lógica de funcionamiento de la línea, la interpretación de los estados operativos de los robots y equipos, ni la relación entre los datos intercambiados y las funcionalidades reales que se están ejecutando en planta. Tampoco proporcionan, de forma integrada, herramientas para la visualización unificada, el almacenamiento histórico, el diagnóstico de incidencias o la ejecución de acciones sobre los dispositivos. En consecuencia, la detección de errores, la supervisión avanzada o la modificación de comportamientos suele requerir el uso de herramientas externas, programación adicional en PLCs o acceso directo a los entornos propietarios de los fabricantes, aumentando la dependencia de perfiles muy especializados.

En este contexto, CODIRA va un paso más allá del concepto de middleware multiprotocolo tradicional. La plataforma se concibe no solo como una capa de comunicación unificada entre dispositivos industriales, sino como un sistema central de gestión, orquestación y control lógico de la línea industrial. Además de soportar múltiples protocolos de comunicación de forma simultánea, CODIRA incorpora una capa de inteligencia que permite:

- Interpretar los datos intercambiados en función de la lógica operativa de la línea y de los robots, asociando variables a estados, operaciones y funcionalidades reales.
- Visualizar en tiempo real y de forma histórica el estado de los robots, máquinas y procesos, proporcionando una visión global y coherente del sistema productivo.
- Definir y ejecutar reglas lógicas y automatismos que permiten reaccionar ante eventos sin necesidad de modificar la programación interna de PLCs o robots.
- Ejecutar y controlar funciones de los robots y dispositivos directamente desde la plataforma, posibilitando, en determinados escenarios, la reducción o sustitución de la lógica tradicional basada en PLCs, y en otros, su convivencia de forma complementaria.

- Centralizar la trazabilidad, el registro de eventos, el diagnóstico de incidencias y la supervisión operativa, facilitando el mantenimiento, la mejora continua y la toma de decisiones.

De este modo, CODIRA aborda de forma integral las limitaciones detectadas en las soluciones actuales, proporcionando una plataforma que no solo conecta dispositivos, sino que gestiona el comportamiento del sistema industrial de manera coherente, flexible y escalable. En instalaciones poco complejas, la plataforma puede asumir parte de la lógica de control, simplificando la arquitectura y reduciendo costes. En instalaciones más complejas, CODIRA actúa como una capa superior de orquestación y supervisión que convive con los PLCs existentes, aportando mayor control, visibilidad y capacidad de evolución del sistema.

El objetivo general del proyecto ha sido, por tanto, investigar, diseñar y validar una plataforma software innovadora que mejore la interoperabilidad en entornos industriales con robótica, incorporando funcionalidades avanzadas de gestión, control y supervisión que actualmente no están cubiertas de forma conjunta por las soluciones disponibles en el mercado. Este objetivo se ha desarrollado en el marco de un proyecto de I+D cofinanciado por IVACE y fondos FEDER, con la participación activa de empresas integradoras y usuarias, con el fin de garantizar que la solución resultante esté alineada con necesidades reales del tejido industrial y presente un alto potencial de aplicación y transferencia.

2. Empresas colaboradoras

El proyecto CODIRA se ha desarrollado en estrecha colaboración con empresas de la Comunitat Valenciana, seleccionadas estratégicamente para representar distintos perfiles dentro de la cadena de valor industrial. En concreto, han participado tanto empresas integradoras de sistemas industriales, con amplia experiencia en el diseño e implantación de soluciones de automatización, como empresas usuarias finales, que operan líneas productivas reales. Esta combinación ha permitido orientar el desarrollo de la plataforma hacia necesidades reales del mercado, asegurando la aplicabilidad práctica de los resultados obtenidos.

Empresas integradoras de sistemas

Las empresas integradoras han desempeñado un papel clave en el proyecto, aportando su conocimiento experto en integración de robots, maquinaria, PLCs y sistemas de gestión, así como su experiencia directa en proyectos industriales reales. Su participación ha sido especialmente relevante en las fases de definición y priorización de requisitos, y en la validación de la solución desarrollada, evaluando el potencial de CODIRA como herramienta de integración en distintos escenarios industriales.

Las empresas integradoras participantes han sido las siguientes:

- **DYMSA Ingeniería S.L.**
Empresa especializada en ingeniería industrial, automatización y mantenimiento de instalaciones productivas. En el marco del proyecto CODIRA, DYMSA ha contribuido aportando su experiencia en el diseño de arquitecturas de control industrial y en la integración de sistemas heterogéneos. Sus aportaciones se han centrado en la identificación de problemas habituales en la comunicación entre dispositivos de distintos fabricantes, en la definición de requisitos de interoperabilidad y en la evaluación del impacto de CODIRA en la reducción de tiempos de integración y puesta en marcha de instalaciones industriales.
- **MESLIDER S.L.**
Empresa integradora especializada en soluciones de gestión de la producción (MES/MOM) y organización industrial. MESLIDER ha participado aportando la visión de integración entre el mundo de la automatización industrial (OT) y los sistemas de información de nivel superior (IT). Su papel ha sido clave en la definición de requisitos relacionados con la apertura de datos, la disponibilidad de APIs y la conexión de la plataforma CODIRA con sistemas MES/ERP, así como en la validación del valor añadido de la solución como capa intermedia entre planta y sistemas de gestión.
- **Hurtado Rivas S.L.**
Empresa dedicada al diseño y desarrollo de soluciones de automatización “llave en mano”, con especial presencia en sectores como madera-mueble y metalmecánico.

Hurtado Rivas ha aportado su experiencia en la integración completa de líneas productivas, incluyendo robots, maquinaria y periféricos. En el proyecto CODIRA ha contribuido especialmente en la definición de requisitos orientados a la simplificación de arquitecturas de control, la convivencia de la plataforma con PLCs tradicionales y la evaluación del potencial de CODIRA para reducir complejidad y mejorar el mantenimiento en instalaciones industriales reales.

Empresas usuarias finales

Las empresas usuarias finales han participado en el proyecto como colaboradoras directas, aportando la visión desde la operación diaria de líneas productivas reales. Su papel ha sido fundamental para contrastar que las funcionalidades desarrolladas responden a necesidades prácticas de producción, mantenimiento y supervisión, y para validar la utilidad real de la plataforma en entornos industriales.

Las empresas usuarias participantes han sido las siguientes:

- **Simetría Innovación S.L. (anteriormente Globalcyclus S.L.)**
Empresa enfocada en la mejora de la eficiencia de procesos industriales, la gestión de residuos y el desarrollo de nuevos materiales. En el proyecto CODIRA, Simetría Innovación ha actuado como empresa usuaria aportando casos de uso reales relacionados con la monitorización de procesos, la trazabilidad de datos y la optimización operativa. Sus aportaciones han sido especialmente relevantes en la validación de funcionalidades de visualización, análisis de datos y supervisión centralizada, así como en la evaluación del potencial de la plataforma para mejorar la eficiencia y el control de procesos industriales.
- **Lemec S.L.**
Empresa industrial dedicada a la fabricación de piezas metálicas mediante estampación en frío y decoletaje, que dispone de diversas líneas de producción con dispositivos automatizados. Lemec ha participado como empresa usuaria final, aportando la perspectiva de una planta productiva real con necesidades de control, mantenimiento y reducción de paradas. Su papel en el proyecto ha sido clave para validar la aplicabilidad de CODIRA en entornos industriales reales, especialmente en aspectos relacionados con la supervisión de estados de máquina, la detección de incidencias, la trazabilidad de eventos y la facilidad de integración de la plataforma sobre infraestructuras existentes.

Este enfoque mixto, combinando empresas integradoras y empresas usuarias, ha permitido que el proyecto CODIRA se desarrolle con una orientación claramente práctica y alineada con el mercado, asegurando que la plataforma resultante no solo sea técnicamente viable, sino también útil, escalable y transferible al tejido industrial valenciano.

3. Actividades realizadas

El desarrollo del proyecto CODIRA se ha estructurado en una secuencia de actividades técnicas y de colaboración empresarial orientadas a alcanzar los resultados previstos (caracterización tecnológica, plataforma funcional y piloto demostrador en entorno relevante). Para asegurar coherencia entre lo investigado, lo desarrollado y lo validado, las actividades se han ejecutado de forma iterativa: análisis y selección tecnológica → definición de requisitos con empresas → diseño y desarrollo del middleware sobre hardware → integración en un demostrador representativo → validación técnica y con empresas.

El desarrollo de CODIRA se estructuró en varias fases técnicas secuenciales.

Caracterización tecnológica. Análisis de protocolos y comunicación industrial y obtención de requisitos

En el marco del PT4 se llevó a cabo una caracterización tecnológica exhaustiva de las alternativas de comunicación industrial y de las interfaces habituales en robótica y automatización, con el fin de fundamentar el diseño de CODIRA sobre criterios objetivos (técnicos y de aplicabilidad industrial).

La caracterización se estructuró en tres bloques complementarios:

- Análisis de protocolos de comunicación industrial relevantes en automatización y control, abarcando tanto protocolos de campo/tiempo real (p. ej., PROFINET, Modbus, EtherCAT, EtherNet/IP) como protocolos orientados a la interoperabilidad y a la integración vertical OT/IT (p. ej., OPC UA, MQTT, API REST, etc.). Este análisis permitió identificar capacidades, limitaciones y escenarios típicos de uso de cada tecnología, de cara a su idoneidad en un middleware multiprotocolo
- Análisis específico de protocolos e interfaces en robots industriales, revisando cómo se integran robots de distintos fabricantes en arquitecturas industriales reales, qué protocolos soportan de forma nativa u opcional y qué implicaciones tiene dicha diversidad para diseñar una plataforma unificada. En este bloque se contemplan explícitamente fabricantes relevantes (p. ej., Universal Robots, ABB, KUKA, Omron y Yaskawa), y se estudia el papel de protocolos como PROFINET, Modbus y otros (OPC UA, EtherNet/IP, etc.) según marca, propósito y alcance funcional, concluyendo con una visión comparativa orientada al diseño de un middleware unificador.
- Análisis de requisitos y bases de arquitectura, donde se traduce el estudio tecnológico (y las necesidades industriales del proyecto) en una especificación coherente: funcionalidades clave, requisitos funcionales/no funcionales, diseño propuesto de arquitectura software, propuesta de interfaz (pantallas principales) y bases para el modelo de datos y la conversión/normalización de información entre protocolos. En esta fase se consolida el concepto de CODIRA como hub entre nivel de campo y sistemas de nivel superior, capaz de conectarse a múltiples protocolos

y exponer una interfaz unificada (web y API) para monitorización, configuración y operación.

Un aspecto clave de esta caracterización fue reconocer la convivencia real de protocolos por niveles (OT/IT) en Industria 4.0. En una arquitectura típica, los protocolos deterministas de máquina/célula (p. ej., PROFINET/Modbus en determinadas integraciones) cubren el intercambio cíclico rápido, mientras que estándares como OPC UA y enfoques IIoT como MQTT facilitan la agregación de datos y la integración con capas superiores (SCADA/MES/ERP/nube), combinando interoperabilidad y contextualización de la información. Esta lectura por niveles permite justificar el enfoque CODIRA no como “un protocolo único”, sino como una capa de orquestación que asume la heterogeneidad y la convierte en una ventaja (flexibilidad, escalabilidad, integración incremental).

A partir de los análisis previos, se concretó una propuesta de selección de protocolos alineada con el objetivo del proyecto (integrar robótica y automatización con sistemas de planta y de empresa):

- Para comunicación industrial en planta (OT), se recomiendan OPC UA, Modbus TCP y PROFINET, asignando a cada uno un rol complementario: PROFINET para integración de alto rendimiento en redes industriales, Modbus TCP como vía simple y universal para integrar equipos auxiliares o legados, y OPC UA como “espina dorsal” de datos por su interoperabilidad, modelo de información y capacidades de seguridad.
- Para comunicación IIoT / integración con servicios y sistemas externos, se opta por MQTT (con Sparkplug) y el uso de API REST para servicios o integraciones puntuales con el mundo IT (MES/ERP, aplicaciones, etc.).

Sobre estas bases se definió, ya como criterio de diseño, que CODIRA debía ser un middleware multiprotocolo (no un simple gateway) con: capacidad de interconectar dispositivos con protocolos diferentes, traducir/transformar datos según necesidad, y exponer el resultado de forma centralizada para consumo humano (interfaz web) y para integración con otros sistemas (API). Esta definición no es solo conceptual: sirve para delimitar el núcleo mínimo del sistema (conectividad, modelo unificado, trazabilidad, operación) y separar lo que debe ir como módulos opcionales o evolutivos (nuevos conectores, extensiones funcionales), preservando modularidad y escalabilidad desde el diseño.

A partir de este análisis tecnológico, se identificaron las implicaciones técnicas y de arquitectura necesarias para una solución multiprotocolo. Con esa base, se procedió a definir un conjunto de requisitos funcionales y no funcionales que la plataforma CODIRA debía cumplir, asegurando la alineación con los objetivos del proyecto y con escenarios industriales reales. Estos requisitos (p.ej. protocolos a soportar, capacidades de monitorización, tiempos de respuesta, seguridad, interfaz de usuario, etc.) fueron posteriormente validados y priorizados con la participación de las empresas colaboradoras, recopilando la visión tanto de integradores de sistemas como de usuarios finales mediante encuestas y reuniones específicas. Esta retroalimentación permitió enfocar el diseño en las funcionalidades más valoradas por el

tejido industrial, estableciendo así una base sólida para el desarrollo del middleware acorde al estado del arte y a las necesidades prácticas detectadas.

Diseño y desarrollo de la plataforma

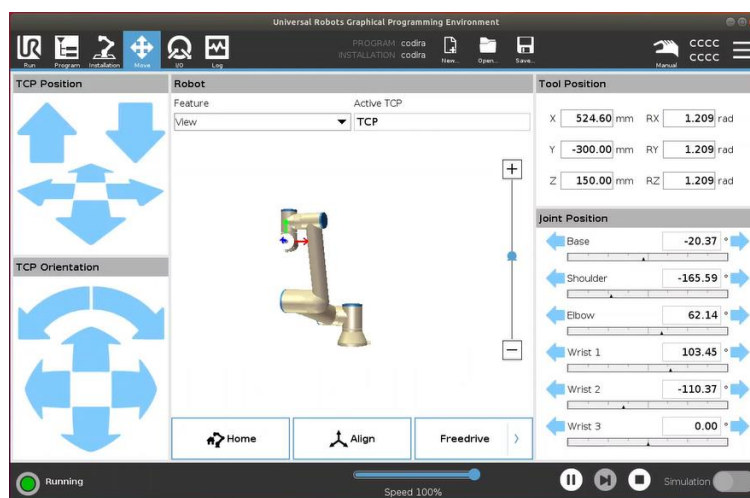
A partir de los requisitos de la fase anterior se realizó el desarrollo de la plataforma para lo que contó con un escenario de pruebas.

Este escenario contaba con los siguientes elementos, representativo de una instalación industrial a pequeña escala. La configuración del sistema de desarrollo fue la siguiente:

- **Módem industrial mbNET (WiFi)**
- **Miniordenador MSI (nodo de acceso)**
- **PLC Siemens S7-1200 (servidor OPC UA)**
- **Simuladores y dispositivos virtuales:** Modbus y simulador de robots UR: URSim
- **Equipos de desarrollo (ordenadores de técnicos)**



Dispositivos utilizados durante el desarrollo



URSIm: simulador de robots UR

A continuación, se describen las principales actividades realizadas (en el marco del PT5: Diseño y desarrollo de la plataforma:

- Preparación del entorno e integraciones iniciales
- Desarrollo del núcleo middleware:
 - Desarrollo iterativo del núcleo software de la plataforma.
 - Desarrollo de la lógica interna de datos
- Implementación de la API REST y gestión de configuración
- Desarrollo del front-end

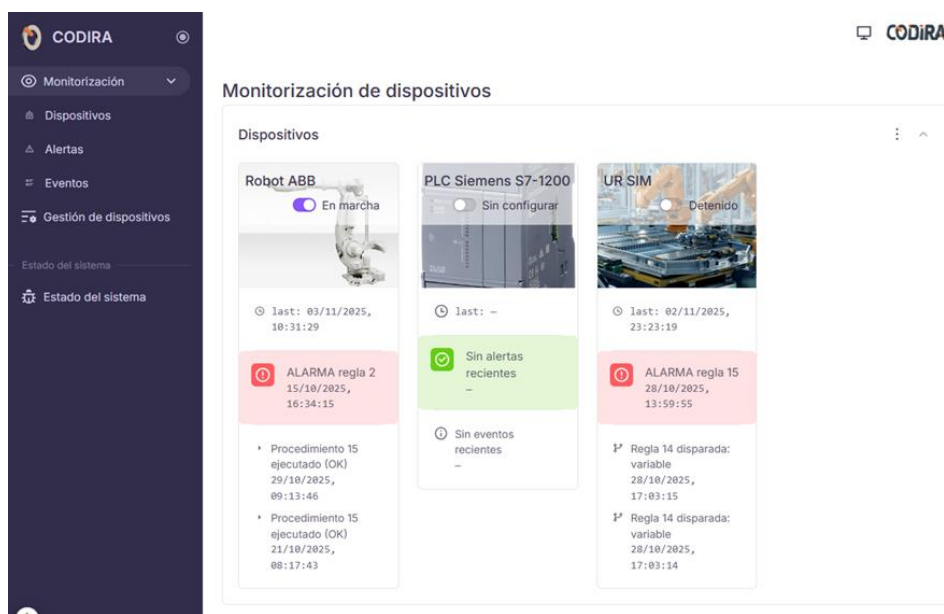
Las características principales implementadas:

- **Interoperabilidad multiprotocolo:** El núcleo de CODIRA puede comunicarse simultáneamente con múltiples equipos usando distintos protocolos industriales estándar. Se ha incorporado soporte para OPC UA (comunicación rica y segura con PLCs/robots), Modbus TCP (lectura/escritura de registros en autómatas y módulos de E/S), MQTT (publicación/suscripción de mensajes IoT, compatible con estándar Sparkplug B), e incluso la posibilidad de integración con redes Profinet o EtherNet/IP mediante adaptadores adicionales. Asimismo, se contemplan conexiones con sistemas TI mediante APIs REST externas, intercambio de ficheros (por ejemplo, CSV) y acceso a bases de datos relacionales. Gracias a esta interoperabilidad, la plataforma actúa como un “traductor universal” entre dispositivos: es capaz de recibir datos en un protocolo y retransmitirlos en otro, unificando el intercambio de información entre equipos que normalmente no podrían comunicarse entre sí. Esta capacidad multi-protocolo, señalada como prioritaria por los integradores, asegura que un mismo sistema pueda gestionar líneas con dispositivos de distintos fabricantes y tecnologías.
- **Monitorización en tiempo real:** La plataforma ofrece una visualización continua del estado de los dispositivos conectados y de las variables críticas del proceso industrial. A través de una interfaz web intuitiva (dashboard), el usuario puede observar en tiempo real valores actualizados de sensores, estados de robots, contadores, alarmas, etc. Los datos se presentan de forma gráfica (indicadores, gráficos de tendencia, semáforos de estado) facilitando una comprensión rápida de la situación de la planta. Se han implementado mecanismos de streaming de datos (ej. vía WebSocket) para que las actualizaciones lleguen al front-end al instante, sin necesidad de recargar la página. De este modo, un responsable de producción o mantenimiento puede supervisar desde un PC o tablet la operación y detectar anomalías o paradas de forma inmediata. Esta funcionalidad de monitorización continua responde a la necesidad de visualización en tiempo real destacada por las empresas usuarias.
- **API REST y apertura de datos:** Además de la interfaz gráfica, el sistema expone una API RESTful que permite a aplicaciones externas consultar y enviar datos a la plataforma de forma segura. Por ejemplo, un sistema MES o ERP de la empresa puede invocar servicios REST del middleware para obtener el estado actual de una máquina, extraer

históricos de producción o incluso enviar órdenes de trabajo a un robot. Esta característica garantiza que la plataforma se integre fácilmente con el entorno IT existente en la fábrica, evitando soluciones propietarias cerradas. Asimismo, se puede configurar la publicación de ciertos datos hacia servicios MQTT o bases de datos corporativas, facilitando la analítica avanzada o la integración con aplicaciones en la nube. La apertura mediante API e interoperabilidad TI/OT fue considerada esencial especialmente por los integradores de soluciones MES, ya que habilita que CODIRA actúe como puente entre el mundo de la automatización (OT) y los sistemas de gestión (IT).

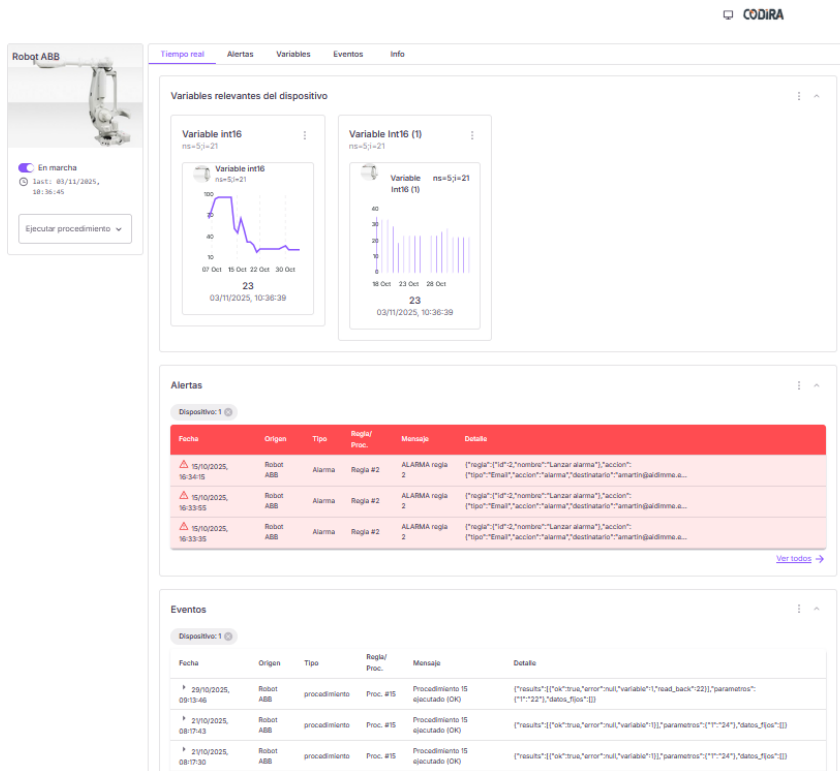
- Motor de reglas (automatización flexible):** Se ha incorporado un motor de reglas lógico que permite definir acciones automatizadas en función de condiciones de los datos de campo. A través de una configuración sencilla (por interfaz web o archivo de reglas), un ingeniero puede establecer, por ejemplo: “Si la temperatura de un sensor (vía Modbus) supera cierto umbral, entonces enviar automáticamente una orden de parada a un robot (vía OPC UA)”. Estas reglas personalizables dotan de inteligencia a la plataforma, permitiendo implementar lógica de control cruzando diferentes sistemas sin requerir modificar los PLCs o la programación de los robots. El motor de reglas soporta condiciones compuestas (AND/OR, múltiples variables), temporizadores y acciones diversas (escritura de variable, envío de alerta, ejecución de script, etc.). Esta funcionalidad de automatización distribuida fue concebida a partir de las necesidades identificadas: las empresas buscan no solo trasladar datos, sino también reaccionar ante eventos de forma automática para aumentar la eficiencia y seguridad (p. ej. detener un proceso ante condiciones fuera de rango, generar notificaciones proactivas, etc.).
- Control remoto de robots y equipos:** La plataforma no se limita a leer datos, sino que también es capaz de enviar comandos a los dispositivos conectados. Por medio de la interfaz unificada, un usuario con los permisos adecuados puede lanzar órdenes hacia un robot (por ejemplo, iniciar o detener un programa predefinido), ajustar consignas en un PLC, o activar/desactivar dispositivos de campo. Esto ha sido posible gracias a la integración de las APIs nativas de los robots (vía OPC UA o SDK específicos) y las funciones de escritura de los protocolos (escritura de registros Modbus, llamadas a métodos OPC UA, publicación de tópicos MQTT hacia actuadores, etc.). El control remoto desde la plataforma facilita la operación manual y la intervención rápida ante eventos, sin tener que acceder físicamente a los controladores o utilizar múltiples herramientas de programación. Durante el desarrollo se probó, por ejemplo, el envío de comandos desde CODIRA a un robot simulado (URSim) y a un esclavo Modbus virtual, verificando que la orden llegaba correctamente y producía la acción esperada. Esta característica aporta flexibilidad operativa, permitiendo a personal de planta con menos conocimientos técnicos ejecutar ciertas acciones de forma centralizada. Las empresas integradoras valoraron especialmente este punto, ya que abre la puerta a soluciones “sin PLC” en aplicaciones sencillas o a reducir la complejidad de la programación en instalaciones más complejas.

- **Trazabilidad y registro de eventos:** Todas las comunicaciones y eventos gestionados a través de la plataforma quedan almacenados en un log centralizado, proporcionando trazabilidad completa del flujo de datos y acciones. El sistema registra cada lectura de sensor, cambios de estado, mensajes intercambiados entre sistemas, así como las acciones ejecutadas (ya sean automáticas por el motor de reglas o manuales por usuarios). Cada entrada de log incluye marca de tiempo, origen, destino y detalle del evento. Esta trazabilidad facilita tanto el diagnóstico de problemas (p.ej. reconstruir la secuencia de eventos antes de una avería) como el análisis de operaciones a posteriori para mejora continua. La plataforma ofrece una interfaz para consultar los registros históricos con filtros (por fecha, por dispositivo, por tipo/severidad de evento) y permite exportar los datos para análisis externos o generación de informes. La implementación de un robusto sistema de registro responde a la preocupación de las empresas por la calidad y auditoría de los procesos: disponer de evidencia histórica de la producción y las comunicaciones es crucial para cumplir estándares de calidad y realizar mantenimiento predictivo.

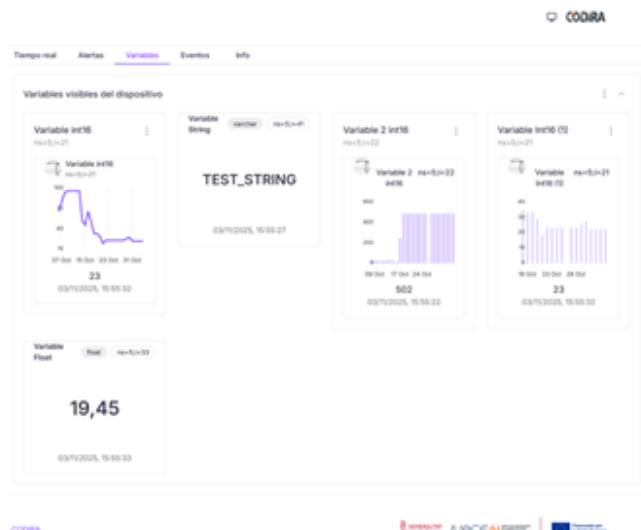


Dispositivos para monitorizar en CODIRA.

Cabe mencionar que la arquitectura software de CODIRA es modular. Cada protocolo de comunicación está implementado como un módulo o conector independiente (p.ej., módulo OPC UA, módulo Modbus, adaptador MQTT, etc.), coordinados por un núcleo central que gestiona la lógica, el almacenamiento y la API. Esto facilita la extensibilidad futura de la plataforma: nuevos protocolos o dispositivos podrán añadirse



Monitorización en tiempo real en CODIRA.



Monitorización de variables en tiempo real en CODIRA.

Finalmente se realizaron pruebas integradas y ajustes con todos los componentes en marcha (comunicación con dispositivos, backend con API, base de datos, reglas, frontend)

Puebas de validación y prueba piloto

En la fase de validación piloto (PT6), se ejecutó un piloto demostrador en instalaciones de AIDIMME, replicando un proceso industrial mediante una arquitectura heterogénea (PLC, robótica, sensores/actuadores, etc.) y validando el funcionamiento integrado de CODIRA. El piloto se diseñó específicamente para comprobar: conectividad multiprotocolo, monitorización y operación con equipos reales, y ejecución de lógica/acciones sobre la infraestructura conectada.

El demostrador se montó como una célula industrial a pequeña escala con equipos reales y comunicaciones heterogéneas, de forma que pudiera validarse la interoperabilidad y la orquestación de acciones en un entorno relevante (TRL 6).

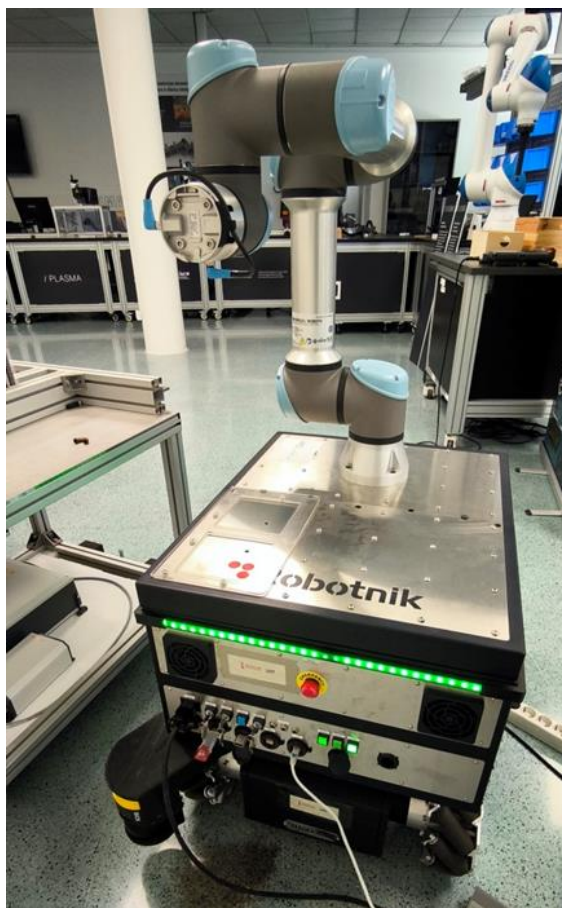
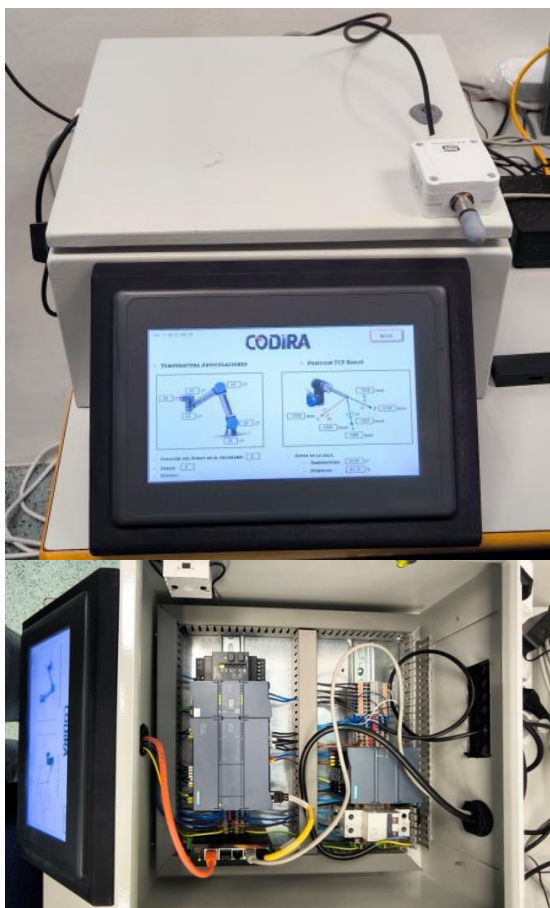
Elemento del piloto	Protocolo / interfaz	Rol en la validación
PLC Siemens S7-1200 + HMI	Servidor OPC UA (PLC) + HMI	Control de la célula, variables de mando/estado y visualización en HMI.
Robot colaborativo UR5 (Universal Robots)	Servidor Modbus TCP	Ejecución de movimientos y publicación de estados/variables leídas por CODIRA.
Mini PC / Edge Computing	Ejecución de CODIRA	Middleware multiprotocolo: pasarela de datos, motor de reglas y orquestación.
Sensor de temperatura y humedad	Integración vía PLC	Ejemplo de sensorización adicional accesible desde CODIRA a través del PLC.
Módem industrial MB Connect Line	VPN / acceso remoto	Conectividad remota segura (tele-mantenimiento) para acceder al entorno de pruebas.

Caso de uso validado en el piloto: se configuró CODIRA para actuar como pasarela y coordinador entre el PLC (OPC UA) y el robot (Modbus TCP). Se verificó (i) el intercambio de variables en tiempo casi real, y (ii) la ejecución de lógica de control distribuida (reglas y procedimientos) sin necesidad de modificar el programa del PLC ni del robot.

En particular, se validó una secuencia de operación en la que un botón en el HMI (que se traslada en un variable OPCUA plcComando) desencadena, mediante una regla en CODIRA, la ejecución del procedimiento proc_run, que inicia un ciclo de movimientos del robot. A su vez, el estado/posición del programa del robot (pclPosicion) y otras variables (p. ej. posiciones/orientaciones y temperaturas) se reflejan en variables OPC UA del PLC y HMI y en el dashboard, permitiendo supervisión y confirmación de finalización.



Parte del demostrador de CODIRA (PLC + HMI con sensores. MiniPC donde se ejecuta CODIRA con monitor, y MODEM)



Dispositivos a conectar e interactuar dentro del demostrador de CODIRA (PLC + HMI y Robot UR)

La validación consistió en ejecutar y repetir pruebas funcionales con las empresas que comprueban la interoperabilidad multi-protocolo, la orquestación mediante reglas y la operación en tiempo casi real con equipos reales.

Bloque de prueba	Qué se valida	Cómo se comprobó / evidencia
T1. Conectividad base	Conexión simultánea de CODIRA como cliente OPC UA (PLC) y maestro Modbus TCP (robot), con capacidad de lectura/escritura.	Conexión estable y acceso a variables; lectura de registros del UR5 y actualización de nodos OPC UA del PLC.
T2. Pasarela de datos (Modbus -> OPC UA)	Lectura cíclica de variables del robot y escritura en el servidor OPC UA del PLC (actualización en tiempo real).	Actualización periódica (cada pocos cientos de ms, ajustable) y visualización consistente en HMI y dashboard.
T3. Orquestación de mando (OPC UA -> Modbus)	Ejecución de acciones en el robot a partir de eventos del PLC/HMI mediante motor de reglas.	Cambio de plcComando en HMI dispara proc_run; el robot inicia la secuencia de movimiento como respuesta.
T4. Lógica y secuenciación por reglas	Encadenamiento de movimientos del robot mediante reglas/procedimientos, usando variables de estado/posición del programa (pclPosicion).	Ejecución de trayectoria prevista (movimiento circular) y actualización del estado (plcEstado) mostrada en HMI.
T5. Monitorización y trazabilidad	Supervisión centralizada de estados/variables y registro de eventos para diagnóstico.	Seguimiento en dashboard y comprobación de cambios de estado sincronizados; registro de la secuencia.
T6. Repetitividad y latencia percibida	Robustez del intercambio y respuesta del sistema en ejecuciones repetidas y variantes de operación.	Repetición de la secuencia en varias ejecuciones (arranque desde HMI o desde la interfaz de CODIRA) sin retrasos apreciables.

Las empresas probaron y experimentaron con estas las funcionalidades de la plataforma. Pudiendo lanzar la secuencia pulsando en el botón del HMI, observando cómo se comportaban los distintos elementos, en la plataforma (cómo se mostraban los datos, cómo se ejecutaban las reglas y los procedimientos), y también en los dos dispositivos (tanto el interfaz OPCUA como el MODBUS como el comportamiento de los mismos, pantalla HMI y movimientos y acciones del robot). Probaron la ejecución de los programas desde el propio interfaz del CODIRA y

podieron experimentar con las funcionalidades de CODIRA, pudiendo modificar valores de las variables del OPCUA a través de la creación de nuevos procedimientos en la plataforma.

Se obtuvo un Índice Global de Validación (IGV), diferenciando perfiles (integradores, usuarios finales y equipo técnico) y agregando un global:

- IGV Integradores: 4,46 / 5 ($\approx 89\%$)
- IGV Usuarios finales: 3,69 / 5 ($\approx 74\%$)
- IGV Equipo técnico: 4,58 / 5 ($\approx 92\%$)
- IGV Global: 4,24 / 5 ($\approx 85\%$)

Destacan puntuaciones elevadas en aspectos vinculados al objetivo del proyecto, como la cobertura de protocolos (Q1 = 4,58/5) y el interés general en la solución (Q10 = 4,67/5), evidenciando una valoración positiva de los resultados logrados y su relevancia industrial.

Respecto a los comentarios cualitativos y sugerencias, la mayoría de los participantes apuntaron a mejoras en la parte hardware y de soporte de protocolos. En concreto, las recomendaciones más repetidas fueron:

- Desarrollo de un hardware mínimo integrado
- Ampliación de protocolos soportados
- Interfaz de usuario más intuitiva.
- Funciones de conectividad remota y ciberseguridad
- Realización de casos de uso complejos en empresas y escalabilidad

Los resultados muestran:

- valoración muy alta por parte de integradores, destacando especialmente reducción de tiempos de integración, simplificación y potencial para arquitecturas más eficientes;
- valoración positiva por parte de usuarios finales, con un enfoque más prudente en aspectos ligados a implantación en activos reales y retorno económico inmediato, manteniendo interés en continuidad y pilotos;
- una valoración global alta, indicando que el proyecto ha conseguido validar los objetivos técnicos y su aplicabilidad.

Estos valores reflejan un alto grado de cumplimiento de objetivos desde el punto de vista técnico y de utilidad percibida, y justifican la evolución hacia nuevas fases de transferencia: ampliación de pilotos en entornos reales de empresa, endurecimiento industrial del despliegue y extensión funcional (más conectores, mejoras de usabilidad y herramientas de configuración).

Esta fase concluyó con la validación integral de CODIRA, tanto a nivel técnico (funcionamiento conforme a lo esperado) como a nivel de aceptación por parte de las empresas, sentando las bases para extraer las conclusiones finales del proyecto.

4. Resultados obtenidos

Los resultados alcanzados se alinean plenamente con los resultados esperados definidos en la memoria del proyecto, alcanzando TRL 6 para la solución demostrada:

- caracterización tecnológica de protocolos y robótica,
- plataforma funcional multiprotocolo con capacidades avanzadas,
- piloto demostrador validado en entorno relevante

4.1. Resultado 1: caracterización tecnológica y de integración (TRL 5)

Se obtuvo un cuerpo de conocimiento estructurado sobre:

- Protocolos industriales relevantes y su adecuación a distintos niveles de planta (campo, célula, supervisión y verticalización).
- Interfaces y capacidades de comunicación en robots industriales (datos accesibles, integración típica con PLC, costes/limitaciones).
- Criterios de selección y recomendaciones para proyectos con heterogeneidad de equipos, aportando una base sólida para la arquitectura multiprotocolo de CODIRA.

Este resultado permitió identificar combinaciones realistas de protocolos para demostrar interoperabilidad y sentó las bases para el diseño modular del sistema.

4.2. Resultado 2: plataforma CODIRA funcional multiprotocolo (TRL 6)

Se desarrolló una plataforma middleware operativa desplegada sobre hardware tipo Edge, con los siguientes logros principales:

- Interoperabilidad multi-protocolo y normalización
 - Conectividad simultánea con equipos de distinta naturaleza mediante OPC UA, Modbus TCP y mecanismos de integración MQTT/API REST (con arquitectura preparada para ampliar protocolos).
 - Modelo común de variables y estados, permitiendo que datos capturados por un protocolo se consuman y actúen desde otro.
- Gestión de configuración, dispositivos y variables
 - Alta y parametrización de dispositivos (tipo de protocolo, endpoint/IP, parámetros de conexión) y catálogo de variables monitorizadas.
- Monitorización en tiempo real

- Dashboard web con visualización continua del estado de dispositivos y variables críticas, con actualización dinámica mediante WebSockets.
- Trazabilidad
 - Registro de eventos y logs operativos, soporte para consulta y exportación (p. ej., CSV) y base para diagnóstico y análisis.
- Motor de reglas y procedimientos (orquestración)
 - Definición de automatismos del tipo “si condición → entonces acción” y procedimientos encadenados, permitiendo coordinar equipos sin reprogramar la lógica interna de PLC/robot.
- API abierta para integración IT/OT
 - Endpoints REST para consumo por sistemas externos (MES/SCADA/BI), facilitando la verticalización y evitando soluciones cerradas.

En conjunto, este resultado materializa el elemento diferenciador del proyecto: CODIRA no se limita al intercambio de datos, sino que incorpora interpretación, lógica, supervisión y capacidad de actuación.

4.3. Resultado 3: piloto demostrador y validación técnica en entorno relevante (TRL 6)

Se implementó un demostrador con PLC OPC UA + HMI, robot UR5 (Modbus TCP), sensorización y CODIRA en un Edge PC, validando:

- Pasarela de datos Modbus → OPC UA con lectura cíclica de variables del robot y escritura en el PLC, visualizable desde HMI como si fueran variables nativas del autómatas.
- Orquestración OPC UA → Modbus: a partir de un evento en HMI/PLC (pulsación de “Inicio”), CODIRA detecta el cambio vía suscripción OPC UA y ejecuta procedimientos que disparan acciones en el robot por Modbus.
- Secuenciación lógica por reglas: encadenamiento de movimientos del robot y actualización de estados mostrados en HMI, verificando que la lógica operativa puede residir en la plataforma, sin cambios intrusivos en los equipos.
- Robustez y latencia adecuada: ejecuciones repetidas y variantes del disparo (desde HMI o desde la interfaz de CODIRA) con funcionamiento fluido y sin retrasos apreciables en el contexto del piloto.

Este demostrador constituye la evidencia principal de validación del concepto “middleware de control y orquestración” en una arquitectura representativa.

4.4. Validación con empresas: resultados cuantitativos y cualitativos

La validación externa se realizó mediante demostración y experimentación con empresas colaboradoras e incluye una encuesta de 10 ítems (escala Likert 1-5), obteniendo un Índice Global de Validación (IGV) alto:

- Personal técnico AIDIMME: 4,58 / 5
- Empresas integradoras: 4,46 / 5
- Empresas usuarias: 3,69 / 5
- IGV global aproximado: ~4,24 / 5

En dimensiones concretas, destacan (promedios por grupo):

- Cobertura de protocolos/interoperabilidad: AIDIMME 4,9 | Integradoras 4,33 | Usuarías 4,0
- Reducción de tiempo de integración/configuración: AIDIMME 4,2 | Integradoras 4,66 | Usuarías 3,5
- Convivencia/sustitución parcial de PLC: AIDIMME 4,7 | Integradoras 4,33 | Usuarías 4,5
- Simplificación de arquitectura de comunicaciones: AIDIMME 4,7 | Integradoras 4,66 | Usuarías 4,5
- Eficiencia operativa percibida: AIDIMME 4,7 | Integradoras 4,66 | Usuarías 4,0

Las empresas integradoras valoran especialmente el potencial de CODIRA para reducir tiempos de integración y simplificar arquitecturas, mientras que las usuarias muestran una valoración positiva pero más prudente en aspectos como coste total e integración “directa” en sus activos, algo coherente con la necesidad de probar la solución en casos reales propios y con mayor escala.

A nivel cualitativo, las recomendaciones recogidas se concentran en:

- evolucionar hacia un hardware mínimo/optimizado para despliegue industrial,
- ampliar protocolos soportados en futuras versiones,
- mejorar usabilidad de la interfaz (configuración de reglas/visualización),
- reforzar conectividad remota y ciberseguridad,
- y realizar pilotos en escenarios más complejos y escalables (más equipos, integración con MES/ERP, etc.).

4.5. Alineación con resultados previstos

Los resultados obtenidos cumplen los tres resultados principales previstos:

1. Caracterización tecnológica de protocolos y robótica (resultado de investigación y selección).
2. Plataforma funcional multiprotocolo con lógica, monitorización, trazabilidad, reglas/procedimientos y API abierta.
3. Piloto demostrador validado en un entorno relevante, con evidencia técnica y aceptación positiva por parte de agentes industriales, alcanzando el nivel TRL 6.

En suma, CODIRA ha demostrado la viabilidad técnica y el interés industrial de una plataforma middleware que actúa como capa de interoperabilidad y orquestación entre PLCs, robots y dispositivos heterogéneos, reduciendo complejidad de integración y aportando capacidades de supervisión, trazabilidad y automatización configurables.

5. Conclusiones

En conclusión, el proyecto CODIRA ha logrado sus objetivos de I+D de forma exitosa, dando lugar a una solución innovadora que mejora la comunicación e interoperabilidad en entornos industriales. Tras la fase de validación final, la plataforma ha alcanzado un nivel de madurez tecnológica 6 (TRL6), demostrando su funcionamiento en un entorno relevante y cumpliendo con los hitos técnicos planteados. Se ha confirmado la viabilidad de un middleware multiprotocolo centralizado que facilita la transformación digital en la fábrica, aportando mayor eficiencia, flexibilidad y control en la integración de dispositivos industriales diversos.

Los resultados obtenidos indican que CODIRA puede proporcionar beneficios tangibles tanto a los integradores de sistemas (simplificando y acelerando la entrega de instalaciones automatizadas complejas) como a los usuarios finales (mejorando la operatividad, monitorización y mantenimiento de sus procesos productivos). La solución presenta un amplio campo de aplicabilidad en diferentes sectores manufactureros (metal-mecánico, automoción, alimentación, madera-mueble, etc.) que enfrentan desafíos de interoperabilidad similares, pudiendo actuar como pieza habilitadora hacia la fábrica inteligente conectada.

Asimismo, la ejecución del proyecto ha permitido identificar algunas mejoras y trabajos futuros de interés. Entre ellas destaca el desarrollo de un hardware embebido optimizado para desplegar CODIRA, con el fin de reducir el coste, tamaño y facilitar el mantenimiento de la solución en entornos industriales (paso clave para escalar a TRL7 y acercarse a un producto comercial). Otras líneas futuras incluyen la incorporación de nuevos protocolos de comunicación estratégicos (según prioridades manifestadas por los integradores), el perfeccionamiento de la interfaz de usuario y de las herramientas de configuración para reducir la curva de aprendizaje, y la integración de funcionalidades de gestión remota segura que fortalezcan la ciberseguridad. Adicionalmente, se propone extender las pruebas a entornos más complejos y realizar nuevos pilotos con distintas empresas, de modo que se siga validando y refinando la plataforma bajo condiciones variadas y a mayor escala.

En resumen, CODIRA se consolida tras este proyecto como una solución industrial viable y útil, capaz de resolver las barreras de comunicación en la Industria 4.0. El éxito alcanzado motiva a continuar con la evolución de la plataforma, incorporando las mejoras identificadas y avanzando hacia su transferencia al mercado. Se espera que, gracias a desarrollos como CODIRA, las empresas puedan avanzar en su digitalización, logrando procesos productivos más conectados, eficientes y seguros, y reforzando la competitividad del sector industrial en la era de la fabricación inteligente.

AIDIMME

Instituto Tecnológico

Domicilio fiscal —

C/ Benjamín Franklin 13. (Parque Tecnológico)

46980 Paterna. Valencia (España)

Tlf. 961 366 070 | Fax 961 366 185

Domicilio social —

Leonardo Da Vinci, 38 (Parque Tecnológico)

46980 Paterna. Valencia (España)

Tlf. 961 318 559 - Fax 960 915 446