

Sistemas de verificación del control de ascensores

Autores.

Jesús Alfonso de la Riva *, Eduardo Escobar Planas **, María Fernández Maiso **, Emilio José Maldonado García **, Julio Gil Navarro **

* Instituto Tecnológico de Aragón, María de Luna 8, Zaragoza (España)

** Mac Puar S.A., Leonardo Da Vinci, 15, 41092, Sevilla (España)

Resumen.

La validación del software de los armarios de maniobra de ascensores es un proceso complejo y costoso en tiempo. Para reducir este esfuerzo, se emplea la técnica Hardware-in-the-Loop (HIL), en la que el sistema de control se conecta a un entorno de simulación que reproduce el comportamiento de una instalación real en la que se pueden insertar fallos. Este trabajo presenta un sistema de ensayo para armarios de maniobra desarrollado conjuntamente por MP e ITA. El armario se integra con un simulador de la instalación en el que coexisten componentes reales, como los motores, con elementos virtuales modelados matemáticamente, tales como interruptores de planta, pulsadores y accionamientos de puertas. Los casos de prueba se definen mediante un lenguaje intermedio cercano al lenguaje natural, lo que facilita la generación automática de programas de test mediante técnicas de inteligencia artificial.

Palabras clave: Hardware-in-the-Loop, validación, tiempo real, Robot Framework, inteligencia artificial.

1. INTRODUCCIÓN Y MOTIVACIÓN

La digitalización de los ascensores ha incrementado la complejidad del software de los armarios de maniobra, que integra control, supervisión, comunicaciones, diagnóstico y gestión de tráfico. Su validación debe cubrir el funcionamiento nominal y la respuesta ante fallos, pérdidas de señal, estados incoherentes y modos especiales de operación.

El marco reglamentario europeo viene definido por la Directiva 2014/33/UE [1], transpuesta en España mediante el Real Decreto 203/2016 [2], y por las normas UNE-EN 81-20:2020 [3] y UNE-EN 81-50:2020 [4]. Estas normas establecen requisitos de seguridad y validación para los sistemas electrónicos programables relacionados con la seguridad (PESSRAL), entre ellos la revisión y el ensayo del software, la verificación conjunta de hardware y software y la inyección controlada de fallos. La ISO 22201-1 [5] es una referencia adicional para aplicar niveles de integridad de seguridad (SIL).

Estos requisitos son el mínimo exigible a los componentes de seguridad, pero no bastan. La verificación del software debe hacerse sobre el sistema completo: el control de maniobra, las comunicaciones, las interfaces de usuario y de mantenimiento, la monitorización remota y cualquier otro software instalado en el ascensor. Un fallo o una modificación indebida en un elemento que no es de seguridad puede afectar a la disponibilidad o al comportamiento del equipo, o a la integridad de las funciones de seguridad a través de sus interfaces. Por eso hay que verificar tanto cada componente por separado como su integración y sus interacciones dentro del sistema.

La normativa no establece un número cerrado de ensayos para validar el conjunto del programa de control. La campaña debe derivarse de los requisitos, configuraciones soportadas y estados del sistema. En una instalación con cuatro ascensores, 32 plantas y tres embarques por planta, la comprobación exhaustiva de los desplazamientos nominales considerando ascensor, planta y embarque de origen y destino genera $4 \times 32 \times 31 \times 3 \times 3 = 35.712$ combinaciones elementales de viaje. A ello deben añadirse llamadas simultáneas, condiciones de carga, modos especiales y fallos de sensores, puertas o comunicaciones.

La ejecución manual de campañas de esta magnitud presenta baja repetibilidad, elevada dependencia del operador y dificultad para reproducir fallos de forma segura y trazable. Antes de introducir los simuladores, una campaña manual podía requerir aproximadamente tres semanas. Estas limitaciones motivaron el desarrollo de entornos HIL capaces de automatizar la generación de escenarios, su ejecución y el registro de resultados.

2. HARDWARE-IN-THE-LOOP APLICADO A LA VALIDACION DE CUADROS DE MANIOBRA

El desarrollo de sistemas de control de ascensores presenta similitudes con otros sectores en los que el software interactúa con sistemas físicos complejos, como la automoción. En estos ámbitos es habitual estructurar el proceso de desarrollo mediante un diagrama en V, en el que el grado de integración entre modelos virtuales y componentes reales aumenta progresivamente hasta alcanzar la validación sobre el sistema completo.

En el diagrama pueden distinguirse cinco etapas principales: simulación, Rapid Control Prototyping (RCP), implementación y verificación Hardware-in-the-Loop (HIL), seguidas de la verificación del sistema completo. La Figura 1 muestra la correspondencia entre este proceso en automoción y su adaptación al desarrollo de una maniobra de ascensor.



Figura 1. Diagrama en V aplicado al desarrollo de sistemas de control: (A) automoción y (B) ascensor.

En la primera etapa, simulación, tanto el controlador como la instalación física se representan mediante modelos software. En el caso del ascensor, pueden modelarse la dinámica de la cabina, puertas, pasajeros, sensores, accionamiento, lógica de

llamadas y características del edificio. Esta fase permite evaluar algoritmos y estrategias de control sin necesidad de disponer de hardware específico.

En la etapa de Rapid Control Prototyping (RCP), parte del controlador se ejecuta sobre hardware de prototipado en tiempo real, mientras que el sistema físico o parte de él puede mantenerse simulado. El objetivo es comprobar el comportamiento del algoritmo en condiciones próximas a tiempo real antes de su implementación definitiva. Aplicado al ascensor, esta fase permite validar anticipadamente nuevas estrategias de control utilizando modelos de la instalación o determinados componentes físicos.

Posteriormente se realiza la implementación del software sobre el hardware final del armario de maniobra. A partir de este punto, el elemento que debe verificarse es ya el mismo controlador electrónico que será instalado en el ascensor, con sus procesadores, interfaces de entrada/salida, buses de comunicación y software de control.

La fase Hardware-in-the-Loop sustituye la instalación física completa por un entorno de simulación en tiempo real, manteniendo conectado el armario de maniobra real. El simulador genera las señales eléctricas y de comunicación que el controlador recibiría en un ascensor y adquiere simultáneamente sus órdenes. Estas acciones actualizan los modelos del ascensor y generan nuevos estímulos para la maniobra, estableciendo un bucle cerrado entre el controlador real y la instalación virtual.

Desde el punto de vista del armario, el entorno HIL debe comportarse de forma equivalente a una instalación real. Esto exige reproducir no sólo la dinámica de movimiento de la cabina, sino también las señales de posición, estados de puertas, llamadas de planta y cabina, tráfico de pasajeros, comunicaciones y otros elementos auxiliares. Cuando resulta necesario, el entorno virtual se complementa con componentes físicos para aquellas interfaces cuya simulación exclusivamente software no resulta suficientemente representativo.

Esta arquitectura permite modificar de forma controlada las condiciones de operación e introducir eventos difíciles de reproducir sobre un ascensor real. Por ejemplo, pueden generarse pérdidas o degradaciones de señales, fallos de puertas, discrepancias de posición, sobrecarga o anomalías mecánicas simuladas. La misma condición puede repetirse de manera idéntica tras una modificación del software, lo que hace al HIL especialmente adecuado para pruebas funcionales y de regresión.

3. SIMULADORES HIL ECOGO E HYBLICON

MP [6] e ITA [7] han desarrollado dos plataformas HIL para la verificación de sus armarios de maniobra. ecoGO reproduce la generación anterior de sistemas de control, mientras que HYBLICON [8] incorpora la arquitectura de la nueva generación y conectividad Ethernet para ensayar también comandos procedentes de aplicaciones en la nube. Ambos entornos permiten validar el hardware y software reales frente a una representación configurable del edificio y de uno o varios ascensores.

3.1. Arquitectura y modelo de simulación

La plataforma utiliza un ordenador de tiempo real que ejecuta, mediante VeriStand [9], modelos desarrollados en Simulink [10] y compilados para ejecución determinista. Un segundo PC actúa como estación de operación: configura el escenario, supervisa la simulación y ejecuta las campañas de ensayo. Esta separación desacopla la simulación en tiempo real de la interfaz de usuario y del almacenamiento de resultados.

El modelo incluye cabinas, hueco, plantas, puertas, pasajeros, sensores y estados de operación. ecoGO permite representar hasta 32 plantas, cuatro ascensores y dos embarques por planta; HYBLICON amplía la configuración hasta 64 plantas, cuatro ascensores y tres embarques. El tráfico puede generarse mediante funciones probabilísticas o a partir de archivos calculados con Elevate [11], permitiendo reproducir diferentes patrones de demanda.

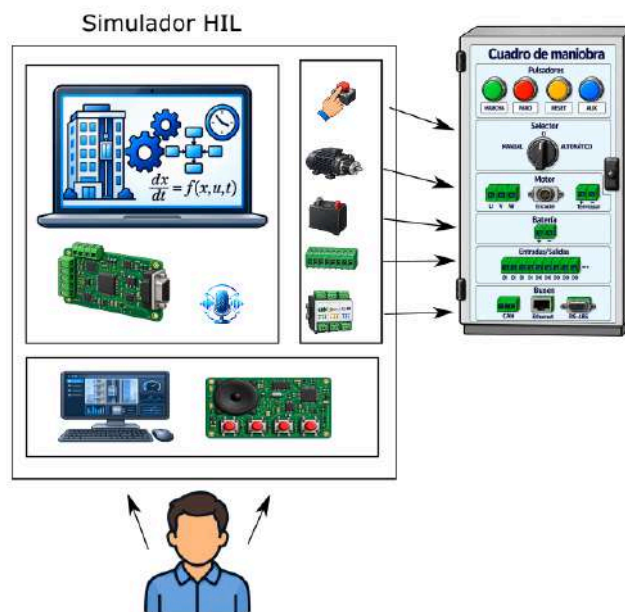


Figura 2. Arquitectura funcional del simulador HIL y conexión con el armario de maniobra.

La interfaz HIL combina adquisición y generación de entradas/salidas digitales, buses de comunicación y elementos físicos. ecoGO puede accionar automáticamente pulsadores y selectores del armario, reconocer los mensajes de audio emitidos por la cabina y evaluar su correspondencia con el estado esperado. La simulación incluye además la batería conectada al cuadro, permitiendo parametrizar su nivel de carga y verificar maniobras de emergencia cuando el sistema opera exclusivamente con alimentación por batería. HYBLICON añade la recepción de comandos a través de Ethernet para reproducir interacciones con servicios externos alojados en la nube.



Figura 3. Simulador ecoGO.

En la Figura 3 se muestra el simulador ecoGO. A la izquierda se encuentra el simulador, encargado de ejecutar el modelo del ascensor y del edificio. Junto a él se disponen cuatro botoneras de planta, utilizadas para reproducir las llamadas y señales de usuario correspondientes a cada ascensor. En la zona central se observan los cuatro cuadros de maniobra reales conectados al sistema de simulación. A la derecha se sitúan los motores eléctricos asociados a cada maniobra, que forman parte de la configuración física del banco y permiten reproducir el comportamiento del accionamiento durante los ensayos.

3.2. Generación de fallos y tipos de ensayo

Los modelos permiten introducir fallos sin modificar físicamente la instalación. Entre los escenarios implementados se incluyen el deslizamiento de los cables sobre la polea de tracción, desajustes de levas, degradación de sensores de posición, fallos de apertura o cierre de puertas y situaciones de sobrecarga. El instante, duración y magnitud del fallo pueden controlarse y combinarse con el tráfico, la posición de las cabinas y otros estados de la instalación.

Sobre esta infraestructura se ejecutan cuatro grupos principales de ensayos: pruebas funcionales nominales; evaluación de tráfico y demanda de uno o varios ascensores; pruebas de respuesta ante fallos; e interactivos que combinan una actuación física o virtual, la evolución del modelo y la verificación automática de la respuesta. La elevada observabilidad del simulador facilita el diagnóstico y permite repetir exactamente un escenario tras modificaciones del software.

4. AUTOMATIZACIÓN DE CAMPAÑAS MEDIANTE ROBOT FRAMEWORK

La ejecución de las campañas de prueba se automatiza mediante el software Robot Framework [12], que actúa como orquestador de los ensayos, mientras VeriStand mantiene la simulación en tiempo real y la interacción con el armario. La comunicación se realiza mediante la API de VeriStand y una librería Python específica para cada simulador que abstrae el acceso a variables, señales y funciones del simulador.

Sobre esta librería se ha definido una capa de palabras clave orientada al dominio del ascensor y expresada con términos próximos al lenguaje natural en español. Las operaciones de bajo nivel quedan encapsuladas en acciones funcionales, como configurar el estado inicial, generar una llamada, introducir un fallo o comprobar una condición. Los casos de prueba se organizan en suites y se ejecutan desde el entorno gráfico de programación y ejecución de test RIDE.

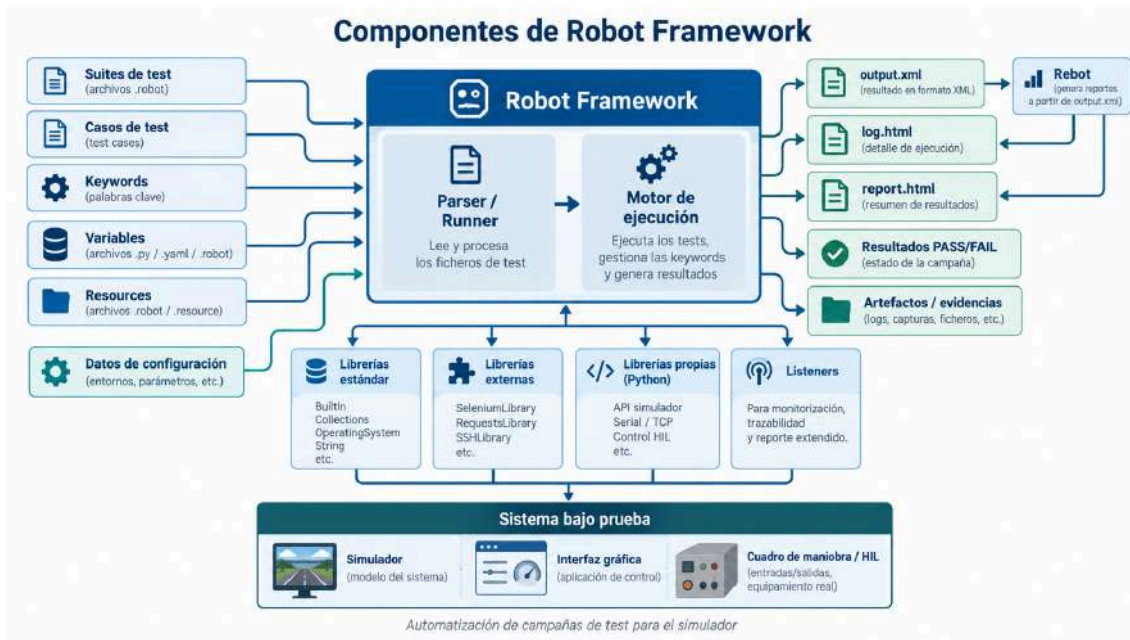


Figura 4. Componentes de Robot Framework e integración con el sistema HIL.

Cada test define condiciones iniciales, estímulos y criterios de aceptación. Una campaña puede combinar señales digitales, buses, fallos del modelo, actuaciones físicas sobre el armario y comprobaciones de salida. Los resultados PASS/FAIL y las trazas quedan registrados, lo que permite reutilizar campañas ya validadas como pruebas de regresión tras cambios del software y mejora la repetibilidad y trazabilidad frente a procedimientos manuales.

5. GENERACIÓN ASISTIDA DE TEST MEDIANTE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La automatización reduce el tiempo de ejecución, pero la definición manual de miles de casos de test sigue siendo costosa. Para reducir este esfuerzo se ha configurado un asistente especializado basado en modelos grandes de lenguaje (LLM), integrado en ChatGPT [13] y orientado a la generación de programas Robot Framework.

El asistente dispone del mapa de entradas y salidas, variables de buses, sintaxis de Robot Framework, documentación de la API de VeriStand y código de la librería Python que implementa las palabras clave. Con este contexto puede responder consultas sobre la arquitectura del banco y transformar una descripción funcional en una secuencia de test. Por ejemplo, a partir de la petición «partiendo con el ascensor en planta 0, genera una llamada desde planta 4 y falla si no llega en 40 s», selecciona las acciones necesarias, genera la llamada, supervisa la posición y establece el criterio temporal de aceptación.

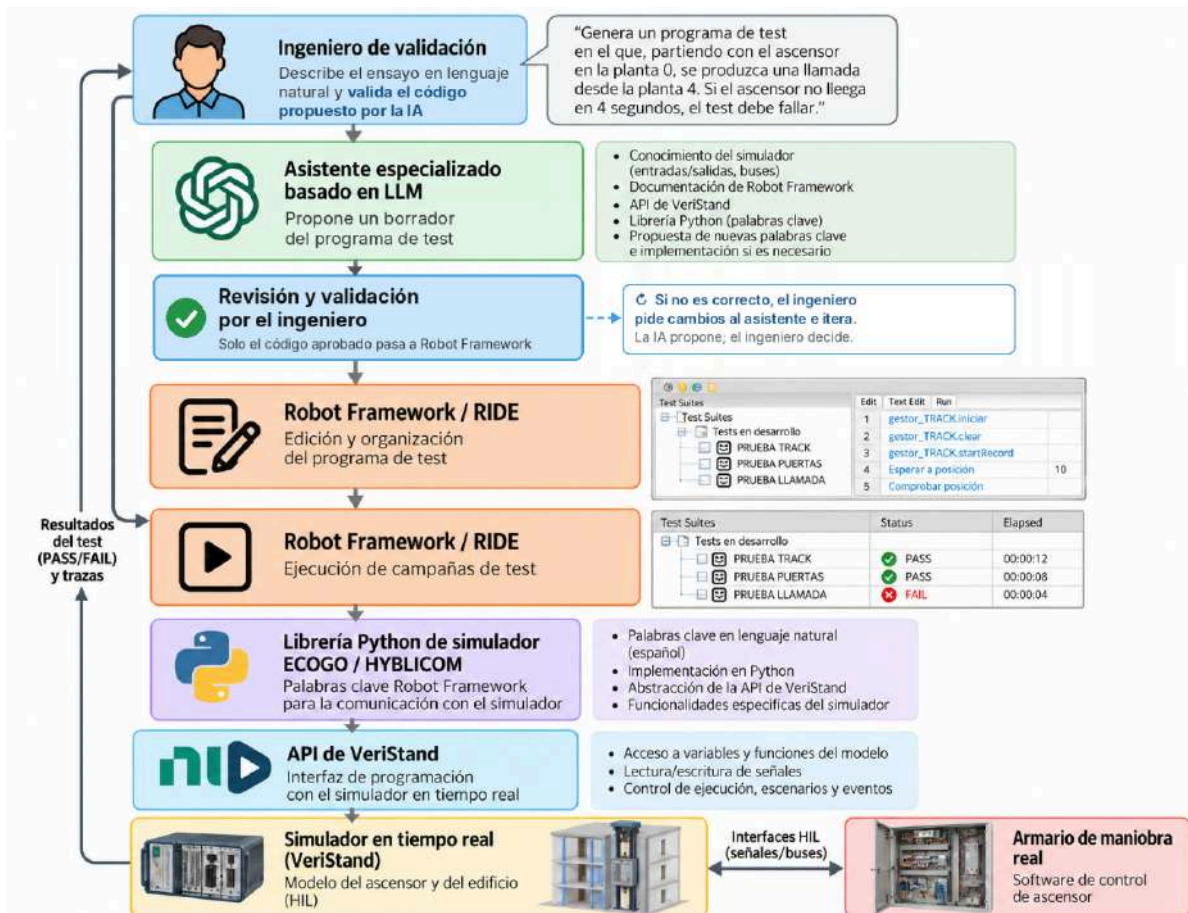


Figura 5. Flujo de generación y ejecución de una campaña de test asistida por LLM.

Cuando una operación requerida no está cubierta por las palabras clave disponibles, el asistente puede proponer una nueva palabra clave, su implementación en Python mediante la API de VeriStand y el test que la utiliza. El LLM actúa únicamente en la fase de especificación y programación: la ejecución y evaluación continúan realizándose de forma determinista sobre Robot Framework, VeriStand y el sistema HIL. Se obtiene así un segundo nivel de automatización, orientado a reducir el esfuerzo de preparación de campañas sin modificar el proceso de validación física.

6. CONCLUSIONES

Los simuladores ECOGO e HYBLICON trasladan al ámbito de los ascensores una metodología de desarrollo basada en modelos y verificación HIL ampliamente utilizada en sistemas de control ampliándolos con capacidades adicionales características de una instalación de ascensor, como la identificación de mensajes sonoros y la pulsación de botones. La conexión del armario real con un modelo en tiempo real permite ampliar la cobertura de ensayo, reproducir fallos de forma controlada y repetir campañas bajo condiciones equivalentes, reduciendo la dependencia de instalaciones físicas completas.

La automatización mediante Robot Framework aporta repetibilidad y trazabilidad, mientras que el asistente basado en LLM reduce el esfuerzo asociado a la programación de campañas. La combinación de ambos niveles de automatización

permite abordar espacios de prueba crecientes manteniendo la ejecución determinista sobre el sistema HIL y el hardware real de maniobra.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, “Directiva 2014/33/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de febrero de 2014, sobre la armonización de las legislaciones de los Estados miembros en materia de ascensores y componentes de seguridad para ascensores,” Diario Oficial de la Unión Europea, L 96, pp. 251–308, 2014. [Online]. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2014/33/oj/spa>. Consultado: 20 oct. 2026. EUR-Lex
- [2] Gobierno de España, “Real Decreto 203/2016, de 20 de mayo, por el que se establecen los requisitos esenciales de seguridad para la comercialización de ascensores y componentes de seguridad para ascensores,” Boletín Oficial del Estado, núm. 126, 25 mayo 2016. [Online]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2016/05/20/203/con>. Consultado: 20 oct. 2026. BOE
- [3] Asociación Española de Normalización, UNE-EN 81-20:2020. Reglas de seguridad para la construcción e instalación de ascensores. Ascensores para el transporte de personas y cargas. Parte 20: Ascensores para personas y personas y cargas, Madrid, España, 2020.
- [4] Asociación Española de Normalización, UNE-EN 81-50:2020. Reglas de seguridad para la construcción e instalación de ascensores. Exámenes y ensayos. Parte 50: Reglas de diseño, cálculos, exámenes y ensayos de componentes de ascensor, Madrid, España, 2020.
- [5] International Organization for Standardization, ISO 22201-1:2017. Lifts (elevators), escalators and moving walks — Programmable electronic systems in safety-related applications — Part 1: Lifts (elevators) (PESSRAL), Geneva, Switzerland, 2017. ISO
- [6] Mac Puar, S.A., “MP Ascensores.” [Online]. Disponible en: <https://www.mpascensores.com/>. Consultado: 20 oct. 2026. MP Ascensores
- [7] Instituto Tecnológico de Aragón (ITA), “Instituto Tecnológico de Aragón.” [Online]. Disponible en: <https://www.ita.es/>. Consultado: 20 oct. 2026
- [8] MP Ascensores, «Hyblicon, la nueva plataforma inteligente de conectividad y control de ascensores», 18 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://mpascenseurs.com/hyblicon-plataforma-inteligente-conectividad-control-ascensores>. [Consultado: 20-oct-2026].
- [9] National Instruments, VeriStand User Manual. [Online]. Disponible en: <https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/veristand/>. Consultado: 20 oct. 2026. NI
- [10] MathWorks, Simulink Documentation — Simulation and Model-Based Design. [Online]. Disponible en: <https://www.mathworks.com/help/simulink/>. Consultado: 20 oct. 2026. MathWorks
- [11] Peters Research Ltd., “Elevate — Elevator Traffic Analysis and Simulation Software.” [Online]. Disponible en: <https://www.peters-research.com/>. Consultado: 20 oct. 2026. Peters Research
- [12] Robot Framework Foundation, Robot Framework User Guide. [Online]. Disponible en: <https://robotframework.org/>. Consultado: 20 oct. 2026. Robot Framework
- [13] OpenAI, “ChatGPT.” [Online]. Disponible en: <https://chatgpt.com/>. Consultado: 20 oct. 2026.

8. AGRADECIMIENTOS

Los desarrollos presentados en este artículo han sido financiados parcialmente en el marco del proyecto HYBLICON («Nueva plataforma inteligente de conectividad y control de ascensores»), expediente IDI-20240098, desarrollado por MAC PUAR, S.A., con financiación del Centro para el Desarrollo Tecnológico y la Innovación (CDTI), dentro del Programa de ayudas de proyectos I+D+I y por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER con el objetivo de promover el Desarrollo tecnológico, la innovación y una investigación de calidad.