

Jornadas de Automática

Plataforma para formación en colaboración humano-robot basado en realidad virtual

Antonio J. Reina Terol^{a,*}, Juan María Herrera López^a, Isabel García Morales^a, Álvaro Galán Cuenca^a, Beatriz Zambrano Serrano^b, José García^b, Alfonso J. García Cerezo^a, Víctor F. Muñoz Martínez^a

^aDpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Málaga, Campus de Teatinos, 29071 Málaga, España.

^bMetaMedicsVR, Málaga, España.

To cite this article: Reina, A.J.; Herrera-López, J.M.; García-Morales, I.; Galán, A.; Zambrano-Serrano, B.; García, J.; García-Cerezo, A.J.; Muñoz-Martínez, V.F. 2026. Virtual reality for human-cobot collaboration training. Jornadas de Automática, 47. <https://doi.org/10.17979/ja-cea.2026.47.13847>

Resumen

La adopción de cobots en la Industria 4.0 demanda estrategias de formación accesibles a personas sin conocimientos de robótica ni programación. Este trabajo presenta X-HRC, una plataforma de realidad virtual desarrollada en MASTER-XR e integrada en VIROO que guía al usuario por una célula robótica colaborativa, familiarizándole con tareas básicas como son: delimitar zonas de seguridad, programar un cobot por guiado, secuenciar una tarea mediante bloques funcionales y asumir el rol de un operario durante la ejecución de una tarea. La plataforma se construyó en dos fases: el modelado y validación del escenario en Visual Components y el desarrollo de la experiencia inmersiva en VIROO, la cual incorpora ayudas visuales, narración, niveles de dificultad y un panel de gestión de usuarios y métricas. Una evaluación preliminar de usabilidad con alumnas de secundaria sin experiencia previa ofreció una valoración mayoritariamente positiva sobre su realismo y facilidad de uso, validando su utilidad como mecanismo de divulgación de tareas colaborativas humano-cobot.

Palabras clave: Realidad virtual, Robótica colaborativa, Industria 4.0, Formación.

A Virtual Reality-Based Platform for Human-Robot Collaboration Training

Abstract

The adoption of cobots in Industry 4.0 requires training strategies accessible to users with no prior knowledge of robotics or programming. This work presents X-HRC, a virtual reality platform developed within the MASTER-XR project and integrated into VIROO, which guides users through a collaborative robotic cell, introducing them to key tasks such as defining safety zones, programming a cobot through hand-guiding, sequencing tasks using functional blocks, and acting as an operator during task execution. The platform was developed in two phases: scenario modelling and validation in Visual Components, followed by the implementation of the immersive experience in VIROO. The platform incorporates visual aids, narration, difficulty levels, and a user and metrics management panel. A preliminary usability evaluation with secondary school female students with no previous experience showed a predominantly positive perception of the platform's realism and ease of use, supporting its potential as a tool for outreach and introductory training in human-cobot collaboration.

Keywords: Virtual reality, Collaborative robotics, Industry 4.0, Education.

*Autor para correspondencia: ajreina@uma.es

1. Introducción

La transformación digital de la industria ha incrementado la presencia de robots colaborativos (cobots) en tareas de ensamblaje, inspección, manipulación y logística (Keshvarparast et al., 2024). Su adopción en las líneas de montaje aporta una flexibilidad clave, ya que permite combinar el rendimiento repetitivo y la fuerza de las máquinas con las habilidades propias del ser humano (Magalhaes and Ferreira, 2022). A diferencia de los robots industriales tradicionales, los cobots están concebidos para compartir espacio de trabajo con personas, lo que añade un componente de seguridad y coordinación que el operario debe comprender. Para que esta convivencia sin barreras físicas sea factible, los sistemas deben respetar estrictas distancias de seguridad, ralentizando o deteniendo por completo al equipo si la persona se acerca demasiado (Magalhaes and Ferreira, 2022). Por lo tanto, el éxito de la colaboración humano-robot (HRC) no recae únicamente en la capacidad técnica, sino que depende de forma fundamental de los factores humanos, la ergonomía cognitiva y la percepción de seguridad del propio trabajador (Pietrantonio et al., 2024).

Hoy en día, la HRC se entiende como un sistema sociotécnico complejo que exige “adaptabilidad social”, donde los robots deben ser capaces de ajustar dinámicamente su comportamiento (como velocidades y distancias) basándose en principios de interdependencia e intencionalidad conjunta con su compañero humano (Freire et al., 2024). En este contexto, la Industria 4.0 no solo necesita técnicos capaces de programar o supervisar sistemas robotizados, sino también una ciudadanía capaz de entender qué papel desempeñan los robots en los entornos productivos y bajo qué condiciones pueden colaborar con los humanos. Esta necesidad es especialmente relevante cuando la formación se dirige al público general sin conocimientos previos en robótica, programación o informática.

La llegada de los cobots ha transformado el rol tradicional del operario, quien debe ahora colaborar activamente con el robot, y para lo cual hay que decidir en qué etapas del proceso debe intervenir, cuándo debe monitorizar a la máquina o cuándo debe asumir el control de la tarea (Yuviler-Gavish et al., 2024). Esta transición exige que los nuevos modelos de formación se centren en desarrollar las competencias necesarias para la colaboración humano-cobot, más allá del aprendizaje de procedimientos específicos.

Por otro lado, el acceso a celdas robotizadas reales presenta barreras conocidas: coste de los equipos, disponibilidad limitada, requisitos de seguridad, necesidad de supervisión experta y dificultad para repetir situaciones de fallo sin riesgo. En este sentido, la realidad virtual (VR) y, de forma más general, las tecnologías de realidad extendida (XR) permiten simular procesos industriales de forma inmersiva, repetible y segura. Estudios recientes sobre formación en robótica industrial y colaboración humano-robot han mostrado el potencial de estas tecnologías para ensayar tareas, mejorar la comprensión espacial y reducir la exposición a riesgos durante el aprendizaje inicial (Dianatfar et al., 2020; Monetti et al., 2022). Los gemelos digitales y los entornos de realidad mixta se han empleado para enseñar cinemática, seguridad y operación de celdas antes de pasar al equipo real (Orsolits et al., 2022; Nava-Téllez et al., 2023).

Este artículo presenta X-HRC, una plataforma de VR orientada a la colaboración humano-cobot (*Human-Robot Collaboration*, HRC). Su objetivo no es formar programadores expertos, sino ofrecer a personas sin conocimientos previos de robótica ni programación una primera aproximación comprensible, segura y guiada al uso de una célula colaborativa y a la programación simple de una tarea compartida entre humano y cobot. La relevancia de las primeras experiencias de interacción con cobots ha sido puesta de manifiesto por Riar et al. (2025), quienes muestran que el uso de entornos de realidad virtual combinados con elementos de diseño lúdico y gamificación favorece una percepción más positiva del sistema. Basándose en estas premisas para la experiencia del usuario, la propuesta se desarrolla en el marco de MASTER-XR (Barz et al., 2024) y se integra en VIROO, un ecosistema de realidad virtual colaborativa empleado para desplegar escenas XR en entornos educativos y de entrenamiento. Mientras que trabajos previos sobre esta misma infraestructura se han ocupado de los aspectos técnicos del entorno XR y de la programación robótica (Mulero-Pérez et al., 2025), el presente trabajo se centra en la experiencia formativa resultante y en su validación preliminar con usuarios reales.

El resto de este artículo se organiza como se expone a continuación. En la sección dos se explica el diseño de la plataforma para delimitar el escenario, objetivos y finalmente la secuencia por la que pasa el usuario para formarse. En la sección tres se aborda el desarrollo de la plataforma por medio de un modelo digital en Visual Components y en la plataforma VIROO. Por último, la sección cuatro recoge la evaluación preliminar de usabilidad de la plataforma y la sección cinco las conclusiones.

2. Diseño didáctico de la experiencia

El desarrollo se abordó a partir de un diseño didáctico de alto nivel, previo a cualquier implementación, que delimita la tarea colaborativa a representar, los objetivos de aprendizaje perseguidos y la secuencia de etapas que el usuario debe recorrer durante la formación.

2.1. Escenario colaborativo de referencia

El punto de partida fue la caracterización de una tarea colaborativa representativa del entorno industrial. Para garantizar su representatividad se fijaron tres criterios: que la célula incorporase al menos un cobot, que el montaje fuese efectivamente colaborativo entre el cobot y el operario, y que existiesen zonas de seguridad reguladoras de la convivencia entre persona y robot. Sobre estos criterios se definió una célula en la que un operario y un cobot completan de forma conjunta el montaje de una pieza, alimentada y evacuada mediante robótica industrial convencional.

2.2. Objetivos de aprendizaje

A partir del escenario de referencia se identificaron las competencias que la experiencia debe transmitir a usuarios sin formación técnica. Las competencias principales abordadas durante la actividad son las siguientes:

- **Gestión de zonas de seguridad:** comprender la necesidad e importancia de delimitar espacios de trabajo seguros con robots y cobots.



Figura 1: Esquema representado la secuencia de aprendizaje.

- **Programación guiada de robots:** aprender a definir posiciones y trayectorias mediante el guiado físico directo del robot, sin necesidad de utilizar lenguajes de programación.
- **Programación del flujo de trabajo:** comprender cómo se organiza una tarea completa, definiendo la secuencia de operaciones que debe ejecutar la célula robotizada.
- **Asunción del rol de operario durante la ejecución:** participar activamente en el proceso compartiendo espacio de trabajo con el robot y realizando las acciones requeridas para completar la tarea.

2.3. Secuencia de aprendizaje

La Figura 1 ilustra la secuencia de aprendizaje diseñada para la plataforma X-HRC, estructurada visualmente en tres fases generales que el usuario recorre de forma progresiva. En la primera fase, centrada en el usuario, la experiencia arranca con una etapa inicial de formación y familiarización inmersiva. En ella, la persona aprende a manejar el entorno virtual y a desplazarse por él mediante el uso del visor y los mandos de realidad virtual.

Una vez familiarizado, el usuario avanza al bloque central destinado a la configuración de la tarea, el cual engloba de forma secuencial tres de los principales objetivos de aprendizaje. En primer lugar, al usuario se le propone el problema de gestionar los elementos de seguridad de la célula robotizada. Para esto, el operario debe marcar la ubicación de las zonas de seguridad dentro del entorno virtual. A continuación, se aborda la programación por guiado, donde el usuario interviene físicamente moviendo el brazo del robot o cobot hasta las posiciones requeridas para cada una de las tareas de manipulación. En cada una de estas posiciones queda marcada el tipo de operación que debe realizar (coger, soltar, manipular). Para cerrar este bloque, se realiza la programación del flujo de trabajo, etapa en la que el usuario determina el orden de ejecución de las operaciones en la célula componiendo la secuencia mediante bloques visuales, estos bloque vienen predefinidos en la aplicación, siendo el objetivo de esta fase la correcta disposición de los mismos.

Por último, la secuencia culmina en la fase de ejecución. En esta etapa final, el usuario asume activamente el rol de operario dentro de la célula. De este modo, experimenta de primera mano la colaboración humano-cobot, desempeñando sus tareas de montaje de forma paralela y simultánea a las acciones del cobot presente en la célula. En esta etapa el usuario se puede mover libremente por el entorno, pudiendo experimentar lo que ocurre si se acceden a las zonas de seguridad delimitadas en las etapas previas.

3. Desarrollo de la plataforma

El desarrollo de la plataforma se abordó en dos etapas sucesivas. La primera consistió en el modelado y validación de un escenario inicial mediante la creación de un modelo tridimensional del entorno, permitiendo materializar y verificar las decisiones adoptadas durante la fase de diseño didáctico de la experiencia y los objetivos definidos para la misma. La segunda corresponde a la implementación de la experiencia inmersiva en VIROO, que constituye la versión finalmente utilizada por el usuario.

3.1. Modelado previo del escenario en Visual Components

La primera etapa empleó Visual Components como entorno de desarrollo y estudio de un modelo digital. El objetivo de esta etapa ha sido fijar la disposición de todos y cada uno de los elementos físicos presentes en el entorno, así como validar el flujo de trabajo y definir la tarea colaborativa entre un usuario y un cobot. El modelo permitió concretar tanto la configuración física de la célula como el comportamiento de cada uno de los elementos que forman parte del mismo.

La disposición física de la célula incluye tres cintas transportadoras, un almacén para las piezas ensambladas, una mesa de montaje compartida por el operario y el cobot, y un alimentador de bandejas. Se añadieron además sensores de presencia en las zonas de seguridad de cada manipulador, un pulsador de emergencia para el operario y los sensores y actuadores habituales para detener y activar las cintas y llevar a cabo la coordinación del proceso.

Sobre esa disposición se concretó la tarea y el papel de cada agente, esto es, de los robots industriales, el cobot y un operario humano. La secuencia de la tarea es la siguiente: un robot industrial toma las bandejas del alimentador y las deposita en una cinta que las acerca al operario; el operario recoge la bandeja, la traslada a la mesa de montaje, le añade un módulo y la coloca en la zona de trabajo del cobot, situada en la cinta de salida; el cobot atornilla todos los elementos, completa el ensamblaje y lo envía por la cinta; finalmente, un segundo robot industrial recoge la pieza terminada y la lleva al almacén a través de otra cinta.

En esta etapa se programaron las tareas del operario y la célula y se validó por simulación, sin intervención de realidad virtual ni de usuarios, todo ello con objeto de verificar la coherencia del flujo de trabajo. El modelo constituyó así la base para la posterior implementación inmersiva. La Figura 2 muestra una vista general del escenario desarrollado en Visual Components, en la que se aprecia la disposición de los elementos que finalmente integran la célula.

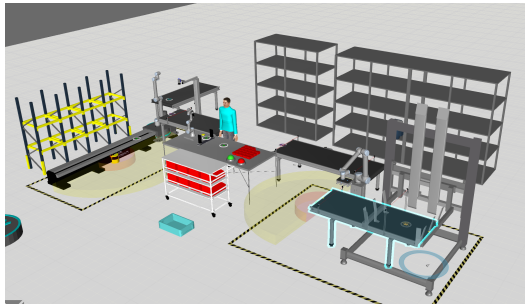


Figura 2: Vista general del escenario prototipado en Visual Components.

3.2. Implementación de la experiencia inmersiva en VIROO

En la segunda etapa se realizó una versión de este modelo previo empleando VIROO, donde la célula adquiere la forma de una experiencia inmersiva guiada. La descripción que sigue no aborda el detalle técnico del desarrollo, el cual aparece documentado para una infraestructura en trabajos previos que comparten la base técnica (Mulero-Pérez et al., 2025), sino las características de la plataforma resultante desde la perspectiva del usuario y de la introducción de robots colaborativos en el entorno. La Figura 3 presenta una vista general de la escena final en VIROO, comparable a la del modelo en Visual Components.



Figura 3: Vista general del escenario colaborativo implementado en VIROO.

La transición de Visual Components a VIROO introdujo varias particularidades respecto a la implementación del flujo de aprendizaje descrito en la Sección 2.3. La experiencia incorpora ayudas visuales explícitas que señalan los puntos de interacción, acompañadas de una narración que orienta cada paso. Las zonas de seguridad vigiladas por los sensores de presencia se definen en VIROO de forma visual mediante su delimitación con conos a disposición del usuario, ya que la manipulación de conos resulta más visual e intuitiva en realidad virtual que la delimitación de áreas propia del modelo digital, tal y como se puede ver en la Figura 4.

Por otro lado, la programación por guiado también introduce elementos de ayuda al usuario. Para esto, las posiciones que el usuario debe programar en el robot para la recogida y la posterior colocación de bandejas se señalan mediante marcadores de posición traslúcidos, que aparecen en la Figura 5 como *Pick 1* y *Place 2*. De esta forma, el usuario aprende un proceso estándar para la programación de robots sin necesidad de instrucciones técnicas

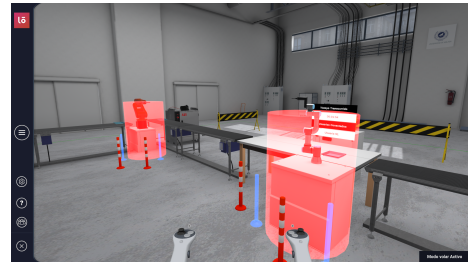


Figura 4: Delimitación de la zona de seguridad mediante conos.

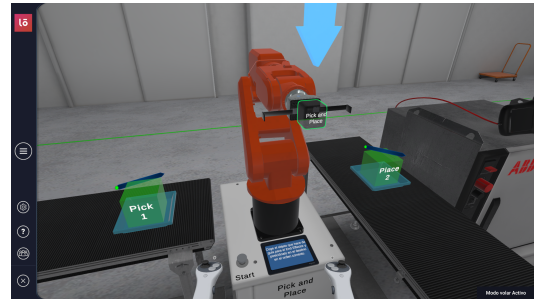


Figura 5: programación por guiado del cobot con ayudas visuales.

En el último paso de la configuración de la tarea, el usuario debe programar el orden de activación de los recursos y las tareas a realizar. La Figura 6 muestra la consola de programación que tiene el usuario para este cometido, donde cada tarea se representa con un bloque a la izquierda de la pantalla.



Figura 6: Consola de programación del orden del flujo de trabajo.

Finalmente, una vez todos los elementos están configurados, el usuario puede lanzar la célula robotizada y ejecutar la tarea colaborativa consistente en el ensamblaje de piezas junto con el cobot. La Figura 7 muestra la visión del operario durante esta fase, y se puede ver cómo van llegando las bandejas para el ensamblaje, y cómo se presenta un panel de progreso con información sobre el estado de ejecución de la tarea.

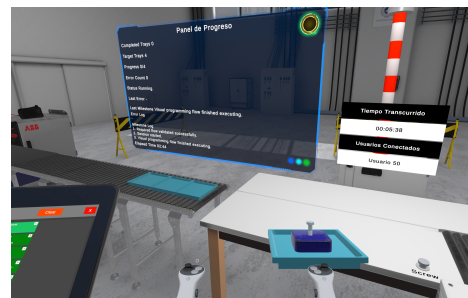


Figura 7: Visión del usuario durante la operación de la célula.

Niveles de dificultad

La experiencia incorpora tres niveles de dificultad que modulan diferentes variables: el ritmo de suministro de bandejas para ensamblar, la profundidad de las ayudas mediante la narración de instrucciones y ciertas facilidades concedidas al usuario para liberarlo de algunas de las tareas. La Tabla 1 ilustra las diferencias en dichas variables según los diferentes niveles. En el nivel de dificultad bajo el sistema ofrece mucha ayuda al usuario mediante una narración de instrucciones extensa y pormenorizada, y automatiza tanto la programación del flujo con bloques como la activación de recursos previa a la ejecución. En el nivel medio, las instrucciones de la narración se reducen y el secuenciado de bloques para la programación del flujo pasa a control manual, pero los recursos siguen activándose automáticamente. Finalmente, en el nivel alto, se minimiza la narración y tanto la secuencia de bloques como la activación de recursos quedan bajo control manual.

Tabla 1: Niveles de asistencia del sistema.

Nivel	Narración	Secuencia de bloques	Activación de recursos
Bajo	Detallada	Automática	Automática
Medio	Intermedia	Manual	Automática
Alto	Mínima	Manual	Manual

3.2.1. Registro de métricas y gestión de usuarios

VIROO registra, para cada ejecución llevada a cabo por los usuarios de la aplicación, una serie de métricas relevantes para hacer un posterior análisis de datos. Para que los administradores del entorno X-HRC puedan visualizar y gestionar el registro de dichas métricas, se ha desarrollado un panel de control que abarca la definición de usuarios en una base de datos, la asignación del nivel de dificultad a cada uno de ellos y el seguimiento de las métricas registradas tras la sesión. La Figura 8 muestra la pantalla principal de visualización de dicho panel donde se pueden ver, entre otras cosas, un resumen de estadísticas de todas las tareas inmersivas completadas y un log de errores frecuentes. Por otro lado, la Figura 9 muestra la interfaz de control de acceso al escenario de la tarea dentro del propio entorno virtual. Mediante esta interfaz el usuario introduce su identificador y el sistema le comunica el nivel de dificultad asignado por los administradores.

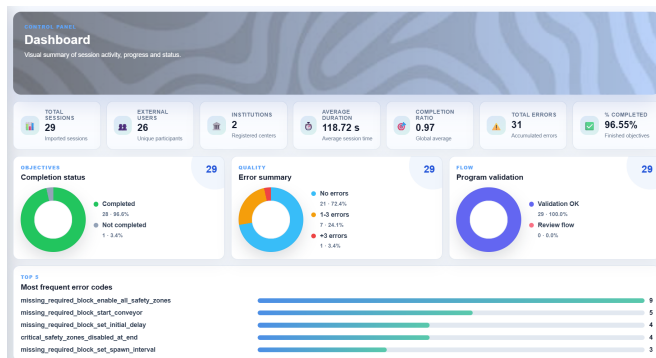


Figura 8: Panel de administración del entorno virtual.



Figura 9: Interfaz de control de acceso y asignación de dificultad por usuario.

4. Evaluación preliminar de usabilidad

Una vez implementada la plataforma se llevó a cabo un ensayo piloto con los objetivos de evaluar la usabilidad de la experiencia inmersiva y de depurar el proceso a seguir por los usuarios de cara a su uso final. La prueba se realizó con un grupo de 24 alumnas de educación secundaria, de entre 12 y 14 años y sin experiencia previa en robótica ni en entornos de realidad virtual. La sesión se integró dentro de una visita al laboratorio organizada en el contexto del programa STEM Talent Girl, promovido por la Fundación ASTI para impulsar el desarrollo del talento científico y tecnológico y el interés por las disciplinas STEM entre estudiantes en etapas tempranas (ASTI Talent and Tech Foundation, 2026). Este ensayo comprendió una breve explicación inicial sobre los conceptos básicos para interactuar con la escena mediante gafas de realidad virtual y mandos, la realización de la secuencia de aprendizaje descrita en este artículo y una encuesta posterior. El cuestionario recogió, además de los conocimientos previos de las participantes (que confirmó su falta de experiencia), ítems de usabilidad (claridad del lenguaje y del procedimiento, facilidad de uso), de calidad de la experiencia (gráficos, interacciones y navegación por el entorno), de comodidad y carga de trabajo mediante el cuestionario estandarizado NASA-TLX, y una valoración global de recomendación. La Figura 10 muestra a varias participantes durante la prueba.



Figura 10: Sesión del ensayo piloto.

Resultados

Las valoraciones de las participantes fueron mayoritariamente positivas. Destacaron en particular la inmersión y el realismo de la escena, el uso de las gafas de realidad virtual y la posibilidad de manipular objetos y programar un robot. Entre las observaciones negativas figuraron aspectos inherentes a la tecnología utilizada, como pequeños mareos en algunos casos, la desconexión temporal con el mundo real durante la experiencia, y la limitación de espacio físico de movimiento. La

Tabla 2 resume los principales indicadores de usabilidad obtenidos del cuestionario. La mayoría de las participantes valoró la escena como fácil de usar y de seguir, con una satisfacción elevada respecto a los gráficos, las interacciones y la navegación por el entorno, así como una percepción positiva del logro de los objetivos de aprendizaje (8,83/10 de media). La carga de trabajo percibida mediante NASA-TLX se mantuvo en valores moderados y la frustración fue baja.

Tabla 2: Principales indicadores de usabilidad del ensayo piloto.

Indicador	Resultado (valor medio)
Recomendación de la escena	8,46/10
Lenguaje fácil de entender	4,26/5
Procedimiento fácil de seguir	4,35/5
Facilidad de uso de la escena	4,27/5
Satisfacción con los gráficos	4,29/5
Satisfacción con las interacciones	4,17/5
Satisfacción con la navegación	4,17/5
Frustración percibida (NASA-TLX) ^a	2.1/10

^a La dimensión de frustración del cuestionario NASA-TLX se presenta reescalada a un rango de 0–10 para facilitar la comparación con el resto de indicadores. Valores inferiores indican menor frustración percibida.

Además de los resultados de los cuestionarios expuestos, el ensayo puso de manifiesto consideraciones relevantes para el futuro despliegue de esta herramienta. La atención a un volumen elevado de usuarios mediante sesiones supervisadas y por turnos resulta poco eficiente. Un formato de exposición autoguiada se ajusta mejor a la naturaleza de la experiencia, ya que el guiado y las ayudas de VIROO, junto con la fase de familiarización, permiten que cada usuario progrese de manera autónoma sin necesidad de supervisión. La adopción de esta automatización en la herramienta requeriría modificar el lanzamiento de la aplicación, de forma que el propio usuario seleccione su nivel de dificultad, inicie la demostración y se registre automáticamente en la base de datos, abriéndose así la posibilidad de utilizar la plataforma virtual para divulgación en entornos como museos o exposiciones.

5. Conclusiones

Se ha presentado X-HRC, una plataforma de realidad virtual para la formación inicial y la divulgación en colaboración humano-cobot, dirigida a personas sin conocimientos previos de robótica ni programación. La herramienta parte de un diseño didáctico que traduce las competencias básicas de la HRC (gestión de zonas de seguridad, programación por guiado, secuenciación de la tarea y desempeño del rol de operario) en una secuencia guiada de aprendizaje, materializada a través de dos etapas de desarrollo: el modelado del escenario en Visual Components y la implementación de la experiencia inmersiva en VIROO, con ayudas visuales, narración, niveles de dificultad y un panel de gestión de usuarios y métricas.

La evaluación preliminar de usabilidad con 24 alumnas sin experiencia previa proporcionó una valoración mayorita-

riamente positiva del realismo y la facilidad de uso, y permitió identificar líneas de mejora, en particular la conveniencia de un despliegue autónomo en formato de exposición autoguiada. Como trabajo futuro se ampliará la validación con muestras más diversas, se automatizará el lanzamiento de la aplicación y el alta de usuarios, y se analizará la transferencia de los aprendizajes a tareas con cobots reales. Adicionalmente se plantea dotar a la plataforma de mayores niveles de dificultad mediante la integración de niveles de programación modular de los robots, esto permitiría ajustarse mejor a la realidad y abordar la formación de usuarios con una mayor experiencia en este campo.

Agradecimientos

Este trabajo se ha desarrollado en el marco de MASTER-XR, iniciativa financiada por la Unión Europea (Horizon Europe, Project ID: 101093079), en concreto en el proyecto X-HRC (eXtended Human-Robot Collaboration).

Referencias

- ASTI Talent and Tech Foundation, 2026. Stem talent girl. URL: <https://astifoundation.com/stem-talent-girl/>
- Barz, M., Karagiannis, P., Kildal, J., de Munain, J., Madarieta, M., Aivaliotis, P., Makris, S., 2024. MASTER-XR: Mixed reality ecosystem for teaching robotics in manufacturing. In: Integrated Systems: Data Driven Engineering. Springer, Cham, pp. 167–178.
- Dianatfar, M., Latokartano, J., Lanz, M., 2020. Concept for virtual safety training system for human-robot collaboration. Procedia Manufacturing 51, 54–60.
- Freire, I. T., Guerrero-Rosado, O., Amil, A. F., Verschure, P. F. M. J., 2024. Socially adaptive cognitive architecture for human-robot collaboration in industrial settings. Frontiers in Robotics and AI 11, 1248646. DOI: 10.3389/frobt.2024.1248646
- Keshvarparast, A., Battini, D., Battaia, O., et al., 2024. Collaborative robots in manufacturing and assembly systems: Literature review and future research agenda. Journal of Intelligent Manufacturing 35, 2065–2118. DOI: 10.1007/s10845-023-02137-w
- Magalhaes, P., Ferreira, N., 2022. Inspection application in an industrial environment with collaborative robots. Automation 3 (2), 258–268. DOI: 10.3390/automation3020013
- Monetti, F., de Giorgio, A., Yu, H., Maffei, A., Romero, M., 2022. An experimental study of the impact of virtual reality training on manufacturing operators on industrial robotic tasks. Procedia CIRP 106, 33–38.
- Mulero-Pérez, D., Zambrano-Serrano, B., Ruiz Zúñiga, E., Fernandez-Vega, M., Garcia-Rodríguez, J., 2025. Enhancing robotics education through XR simulation: Insights from the X-RAPT training framework. Applied Sciences 15, 10020.
- Nava-Téllez, I., Elias-Espinosa, M., Escamilla, E., Hernández Saavedra, A., 2023. Digital twins and virtual reality as means for teaching industrial robotics: A case study. In: 11th International Conference on Information and Education Technology. pp. 29–33.
- Orsolits, H., Rauh, S., Estrada, J., 2022. Using mixed reality based digital twins for robotics education. In: IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct. pp. 56–59.
- Pietrantoni, L., Favilla, M., Fraboni, F., Mazzoni, E., Morandini, S., Benvenuti, M., Angelis, M. D., 2024. Integrating collaborative robots in manufacturing, logistics, and agriculture: Expert perspectives on technical, safety, and human factors. Frontiers in Robotics and AI 11, 1342130. DOI: 10.3389/frobt.2024.1342130
- Yuviler-Gavish, N., Muati, O., Gabbay, B. H., 2024. How performing several task segments simultaneously affects cognitive flexibility training in an assembly task. Interactive Learning Environments 32 (7), 3181–3192. DOI: 10.1080/10494820.2023.2170420