

Robots teleoperados en la industria y los servicios: una revisión bibliográfica sistematizada



Teleoperated robots in industry and services: a systematized bibliographic review

Katherine Araya Carvajal  ORCID, Manuel Ruiz Marin ORCID, Ángel Ramos Marquez ORCID

Instituto Profesional IACC, Santiago, Chile

Recibido: 13/04/2025

Revisado: 15/05/2025

Aceptado: 20/06/2025

Publicado: 30/06/2025

RESUMEN

El uso de robots teleoperados se ha extendido considerablemente en diversas áreas de la sociedad durante el último tiempo, pues ofrecen una gran cantidad de ventajas como eliminar las limitaciones geográficas, acceder a entornos peligrosos y mejorar la eficiencia y tiempo en la ejecución de tareas. Esta investigación describe las aplicaciones de los robots teleoperados empleados en la industria y los servicios, caracterizando las diferentes tecnologías que posibilitan su funcionamiento. El método utilizado corresponde a una revisión bibliográfica sistematizada, para la que se ha revisado publicaciones científicas en las bases de datos Scopus, WoS y SciELO publicadas entre 2017 y 2022. A partir del análisis de 69 publicaciones seleccionadas acorde a los criterios especificados, se constata que la inclusión de robots teleoperados presenta múltiples beneficios en labores industriales, de servicio y medicina, mejorando la precisión, la seguridad y la optimización de los procesos, siendo la retroalimentación háptica una de las tecnologías más frecuentemente utilizadas para el control.

PALABRAS CLAVES: Robótica teleoperada, Sistemas robotizados, Telerobótica, Control de robots, Robótica industrial, Robótica de servicio.

ABSTRACT

The use of teleoperated robots has expanded considerably in various areas of society in recent times, as they offer a large number of advantages such as eliminating geographical limitations, accessing dangerous environments and improving efficiency and time in the execution of tasks. This research describes the applications of teleoperated robots used in industry and services, characterizing the different technologies that enable their operation. The method used corresponds to a systematized bibliographic review, for which scientific publications have been reviewed in the Scopus, WoS and SciELO databases published between 2017 and 2022. Based on the analysis of 69 publications selected according to the specified criteria, it is confirmed that the inclusion of teleoperated robots presents multiple benefits in industrial, service and medical tasks, improving precision, safety and optimization of processes, with haptic feedback being one of the most frequently used technologies for control.

KEY WORDS: Teleoperated robotics, Robotic systems, Telerobotics, Robot control, Industrial robotics, Service robotics.

INTRODUCCION

En la última década, se han experimentado importantes avances en el campo de la robótica y la teleoperación, los cuales han desatado una revolución tecnológica de gran magnitud en diversos sectores, incluyendo los procesos productivos, la entrega de servicios, la medicina, entre otros. Estas innovaciones han sido el catalizador de la denominada Industria 4.0, con el potencial de transformar completamente la manera en que vivimos, trabajamos y nos relacionamos con el mundo que nos rodea (Rozo-García, 2020).

Los robots teleoperados, también conocidos como robots controlados remotamente, son sistemas robóticos controlados y operados por seres humanos a través de una interfaz remota (Yang et al., 2023). En la actualidad, han tenido un gran crecimiento, convirtiéndose en uno de los ejes estratégicos de la Industria 4.0. Su uso extendido en la realización de diversas tareas se debe a sus ventajas de alta eficiencia, seguridad y facilidad de uso (Jiva, 2019). Además, poseen versatilidad y capacidad para realizar tareas con un alto grado de sofisticación en múltiples escenarios (Hossian et al., 2020).

En efecto, la inclusión de la teleoperación brinda diversos beneficios en lo que refiere a rendimiento y desempeño de los robots, pues ayuda, por ejemplo, a mejorar la precisión de los movimientos humanos, como se puede evidenciar en las aplicaciones en cirugía robótica, y a aumentar la protección y la seguridad de las personas en entornos peligrosos que requieren de tareas complejas y desafiantes, tales como la desactivación de explosivos, el manejo de plantas nucleares y eléctricas, entre otras (Lau et al., 2019).

A pesar de las ventajas que ofrecen, los sistemas robóticos teleoperados también poseen ciertas desventajas derivadas de su propio funcionamiento, pues se encuentran propensos a sufrir diferentes inconvenientes tales como ruido en las señales de los dispositivos de control, retardo en la comunicación, pérdida de información, entre otros, derivado de aspectos como la sensibilidad del sistema o la falla de alguno de los componentes que posibilitan la comunicación (Buitrago-Salazar et al., 2016).

No obstante, la tecnología utilizada en este campo ha evolucionado a pasos agigantados, llevando a mejoras significativas en los manipuladores robóticos, especialmente en el ámbito de las comunicaciones, junto con la inteligencia artificial y los sistemas teleoperados. Esto abarca desde el uso de transmisiones mecánicas hasta las eléctricas, cables ópticos, señales de radio e Internet, etc. (Basañez et al., 2023), proporcionando cada vez una mayor estabilidad y eficacia en los sistemas.

En vista de lo expuesto y dada la importancia que han adquirido los robots teleoperados a nivel global, nos hemos propuesto analizar la producción científica sobre el tema con el objetivo de caracterizar las aplicaciones prácticas de los robots en el trabajo teleoperado, haciendo especial énfasis en las diferentes tecnologías que posibilitan su funcionamiento. Así también, se busca reconocer los principales rubros en que son incorporados e identificar sus potenciales beneficios y desafíos a futuro.

METODOLOGIA

La metodología utilizada en esta investigación corresponde a una revisión bibliográfica sistematizada, que se remite a la recopilación, selección y análisis de artículos científicos de manera sistemática y rigurosa. Permite la identificación de tendencias y corrientes al interior de un área de conocimiento determinado y la detección de nuevas líneas de investigación en aquellas temáticas menos exploradas. Además, integra los resultados de diversos trabajos individuales en una interpretación unificada, añadiendo valor a las conclusiones obtenidas (Codina, 2020). Se ha considerado pertinente desarrollar una revisión bibliográfica sistematizada para describir las aplicaciones de los robots teleoperados empleados en la industria y los servicios, caracterizando las diferentes tecnologías que posibilitan su funcionamiento. En su ejecución se han seguido las cuatro fases propuestas por Grant & Booth, (2009): búsqueda, evaluación, análisis y síntesis

La fase de búsqueda se inició identificando las principales palabras claves asociadas al objeto de investigación, las cuales fueron combinadas con operadores lógicos (también conocidos como booleanos) para definir fórmulas de búsqueda que se ingresaron en las tres bases de datos (WoS, Scopus y SciELO). Se encontró un total de 782 artículos publicados entre los años 2017 y 2022.

Para la fase de evaluación, los documentos encontrados fueron revisados considerando los siguientes criterios de inclusión:

- trabajos que describen aplicaciones prácticas de robots teleoperados,
- trabajos que hacen referencia a robots teleoperados en labores de producción y/o servicios.

A su vez, como criterios de exclusión se consideraron los siguientes:

- los trabajos que hablan sobre modelos matemáticos y/o teóricos de robots teleoperados,
- los trabajos que describían experiencias de robots teleoperados en sectores diferentes a la producción y los servicios,
- los trabajos que describen experiencias educativas con robots teleoperados.

Tras el proceso de evaluación y la aplicación de los criterios mencionados, fueron seleccionados 69 artículos.

Para la fase de análisis, se elaboró una matriz en donde se recabó la información principal sobre cada uno de los estudios seleccionados (título, autor/es, año, etc.), junto con los hallazgos más relevantes para efectos de la investigación. Luego, se realizó un análisis temático del contenido de las publicaciones con el fin de clasificarlas según categorías emergentes dentro de la temática central. Dicha clasificación constituyó la base de la etapa final de síntesis, en la cual se agruparon y ordenaron los artículos según su contenido y se describieron e interpretaron los hallazgos de manera conjunta y sintetizada.

RESULTADOS

Características generales de los estudios analizados.

1. Descripción general de resultados

Como fue mencionado anteriormente, los documentos analizados fueron encontrados en tres motores de búsqueda. La Tabla 1 muestra la cantidad de artículos seleccionados en cada uno de ellos. Tal como se observa, los artículos se encontraron en su mayoría en Scopus, que proporcionó un 80% del corpus total, seguido por WoS, de donde se obtuvo un 17% de los documentos. Finalmente, un 3% de los trabajos seleccionados fue encontrado en SciELO.

Base de datos	Cantidad de artículos seleccionados
Scopus	55
WoS	12
SciELO	2
Total	69

Tabla1. Cantidad de artículos seleccionados en cada base de datos.

Con relación a la fecha de publicación de los documentos, es posible indicar que a partir del año 2017 se observa un constante aumento de las publicaciones académicas sobre robots teleoperados en la industria y los servicios. Tal como lo muestra la Figura 1, la mayor cantidad de artículos fue publicado en el año 2022 (28%), seguido del año 2021 (23%), el 2020 (22%), el 2019 (16%), el 2018 (10%) y, finalmente, el año 2017 (1%).

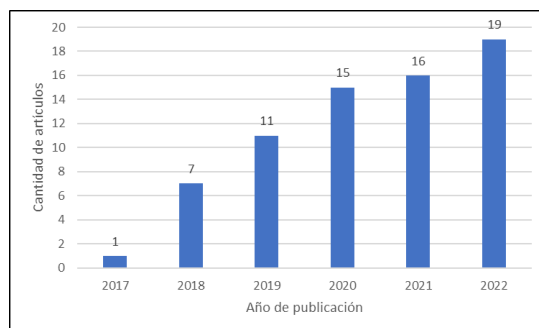


Figura1. Distribución de artículos por año de publicación.

Respecto de la ubicación geográfica de las publicaciones analizadas, estas abarcan todos los continentes con excepción de África. La mayor producción de literatura sobre robots teleoperados en la industria se encuentra en el continente asiático (39%), en donde destacan países como Japón (12 artículos) y China (11 artículos). Le sigue Europa con un 31%, luego América con un 23% y, finalmente, Oceanía con un 7%. La Figura 2 presenta un mapa con el detalle de la distribución de los documentos según país.

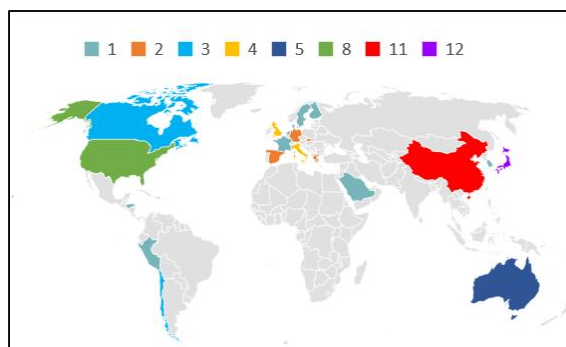


Figura2. Distribución de artículos por zona geográfica.

2. Análisis temático

Era de interés para este análisis identificar la principal tecnología de comunicación y/o control empleada en los sistemas robóticos de las investigaciones analizadas. Tal como lo muestra la Figura 3, la tecnología más utilizada es la retroalimentación háptica (40%), seguida de la interacción humano-robot (HRI) (19%) y el enfoque maestro-esclavo (15%). En menor medida se presentan el sistema operativo de robot (ROS) (9%) y la retroalimentación bilateral (7%). Hay 7 artículos de los estudiados que no indican la tecnología (10%). En el siguiente punto se describe la aplicación de estas tecnologías de comunicación en cada una de las investigaciones analizadas.

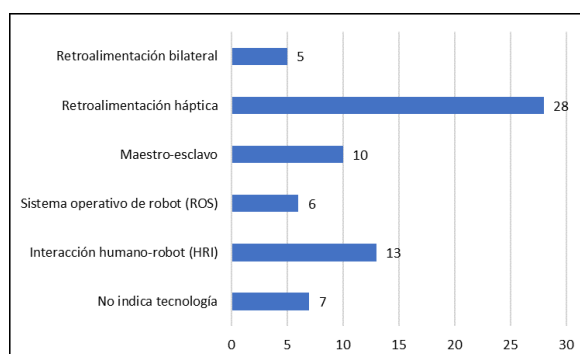


Figura3. Cantidad de artículos según tecnología.

2.1. Retroalimentación bilateral

A partir de las publicaciones analizadas observamos como la retroalimentación bilateral se convierte en una tecnología que va mostrando progresos interesantes con relación a los sistemas de control de robots teleoperados, que les permiten operar con mayor precisión en distintas tareas.

Ya en 2019, Xi et al. proponen un método de control compartido basado en realidad virtual, por medio de un TP-HSMM (Predicción de objetivos-Modelo oculto de Markov), verificando que esta tecnología predice con precisión el objetivo de manipulación y mejora la eficiencia operativa. Mientras las investigaciones de Franzluebbbers & Johnsen (2019) les permite crear interfaces espaciales para controlar los efectores finales de un robot: una con controladores de movimiento

rastreado (Oculus Touch) y la otra con conducción de controladores de ejes (3Dconnexion SpaceMouse), que muestran su efectividad para la teleoperación bimanual.

En 2021 Seo et al., diseñan una representación gráfica para controlar el progreso del trabajo colaborativo de varios robots, compuesta por parámetros de texto, ícono, expresión facial, entre otros, permitiendo la cohesión del equipo y un mayor conocimiento del estado de los robots. Ese mismo año, Zhu et al., investigan el desempeño neuroconductual de operadores en un sistema de control de operación de válvulas industriales, usando las condiciones de retroalimentación de fuerza realista y mediada junto a la recopilación de los datos en TLX (Task Load Index) de la NASA, obtienen una operación más precisa, aumento de la tarea dual, reducción de la carga cognitiva y funciones neuronales más eficientes.

Finalmente, Zhou et al., en 2022 diseñan un método de predicción del movimiento humano basado en características (FHMP) que almacena la transmisión de datos de movimiento y los segmenta en diferentes grupos de patrones con un entorno de realidad virtual (VR), el cual permite evitar anticipadamente colisiones en la teleoperación bilateral, demostrando un mejor rendimiento de predicción en tiempo real.

2.2. Retroalimentación háptica

Otra de las tecnologías asociadas al funcionamiento de los robots teleoperados más estudiada es la "retroalimentación háptica". En este tipo de tecnología se experimenta la eficiencia del trabajo cooperativo entre humano-robot y robot-robot con posibles aplicaciones en la industria. Por ejemplo, en Japón es usado para transportar más de un objeto juntos (Ishikawa et al., 2020b), investigando las influencias del retraso de la red en el trabajo cooperativo entre dos robots remotos, a través del cálculo de la fuerza de reacción, se descubre que usando ambos sensores la fuerza aplicada al objeto aumenta a medida que aumenta la diferencia en el retraso de la red entre los dos robots. Este mismo equipo investigador, Ishikawa et al. (2020a) estudiando los efectos en el control de posición de robots a partir de la información de fuerza de un brazo robótico, concluye que la eficiencia es mayor en el caso cooperativo de humano-robot, apoyando las conclusiones de Toyoda et al. (2020).

En Europa, Hulin et al. (2021) muestran la telemanipulación háptica aumentada por modelo (MATM), usando un modelo remoto que permite la funcionalidad autónoma compartida del robot teleoperado y un modelo local que genera retroalimentación háptica asistida aumentada para el operador humano, demostrando el potencial de aplicación en los campos de robótica orbital, telecirugía, cuidados y telenavegación. También, se evidencia su potencial uso en el área de rescate a partir del trabajo de Naceri et al., (2019), quienes desarrollan una interfaz basada en realidad virtual que maneja la percepción de retroalimentación visual, háptica y sensorial del entorno remoto, permitiendo la intuición y flexibilidad para mantener la eficiencia en las tareas de telerobótica.

Por su parte, Sorgini et al. (2020) elaboran un modelo de picos neuronales basado en gestos con telepresencia multisensorial por medio de una interfaz háptica que entrega en la superficie de la piel una secuencia de estímulos que emulan el código neuronal, lo que brinda información sobre la ocurrencia de eventos críticos y mejora la seguridad de los trabajadores para su aplicación en operaciones típicas industriales. Además, Jurisica et al. (2018), presentan información básica a considerar durante el diseño de robots industriales, centrándose en la descripción general de la funcionalidad y de sus características, destacando los problemas de seguridad en la participación humana en el esquema de control. Finalmente, en Chile, Valenzuela-Urrutia et al. (2019) exponen una metodología basada en el uso de datos de nube de puntos obtenidos con una cámara RGB-D en un robot industrial KUKA, usando dos modos de teleoperación cinemática inversa, encontrando que el espacio de trabajo proporcional es más intuitivo para los operadores que el de movimientos del efector final delta.

En el continente asiático, se muestra el uso de retroalimentación háptica para el transporte de objetos (Ishibashi et al., 2019, Ishibashi et al., 2021), desarrollando un control de posición para el trabajo colaborativo entre dos robots móviles, a través de sensores de fuerza que responden a cambios repentinos en la posición de cada robot móvil debido a obstáculos como agujeros y piedras, reduciendo la fuerza aplicada al objeto en comparación con el caso en el que no se lleva a cabo el control. Además, Qian et al. (2020) diseñan un control de seguimiento de posición para el trabajo cooperativo entre humano-robot y entre robot-robot, donde un usuario opera un brazo robótico usando una interfaz háptica mientras ve un video, mejorando la eficiencia en la entrega de objetos. Asimismo, Watanabe et al. (2019) exponen un método para solventar el problema de inestabilidad de operaciones o comportamientos usando una 'resistencia' que es proporcional a la velocidad; produciendo un efecto de reducción del rango de estabilidad para acercarse a la posición del objetivo.

En Europa es posible observar avances en la retroalimentación háptica aplicados a la industria nuclear que permiten mejorar la seguridad de procedimientos riesgosos. Es el caso del diseño de una solución modular automática propuesta por Blake et al. (2022) para operaciones de cambio de herramientas en una caja de guantes nuclear, mediante el seguimiento visual de etiquetas de realidad aumentada (AR) en línea; demostrando su eficacia sin ningún conocimiento previo del entorno. Mientras, Lopez et al. (2022) evalúan una solución comercial de manipulación robótica teleoperada (COTS), demostrando su flexibilidad, pero ineficiente frente a la operación manual y potencialmente peligrosa para el equipo dentro de la guantera. Por otro lado, en el mantenimiento remoto de reactores de fusión nuclear, Butters et al. (2021) diseñan una interfaz de interacción 3D que vincula el filtrado semántico y espacial con la información jerárquica contenida dentro del sistema de múltiples robots, permitiendo que un usuario lea la información del entorno.

En el ámbito quirúrgico esta tecnología ha presentado soluciones cada vez más eficientes que han permitido a los cirujanos perfeccionar técnicas y concentrar mejor su trabajo en las cirugías. Li & Hannaford ya en 2018, desarrollan una solución basada en redes neuronales recurrentes (RNN) en el robot quirúrgico Raven II, para

la evasión de obstáculos blandos, reduciendo el trauma quirúrgico, el tiempo de quirófano y obteniendo mejores resultados.

A su vez, Liu et al. (2020) generan un sistema de arquitectura de control compartido de energía (ESC) para dos dispositivos hápticos, que logra estabilidad con tres grados de libertad y una versión mejorada de la función de ajuste de autoridad adaptable. En esta misma línea, Kim et al. (2020) diseñan un mecanismo de muñeca de dos grados de libertad con movimiento articulado y manejabilidad cinemática mejorada para cirugía microlaparoscópica, permitiendo gran reorientación de la dirección del efector final con desplazamiento mínimo.

La retroalimentación háptica se suele utilizar ampliamente en el rubro de la salud, sobre todo en las cirugías mínimamente invasivas (MIS). En esta línea, la manipulación de instrumentos quirúrgicos se ha visto mejorada a partir del uso de robots coordinados en plataforma virtual y física desarrollados por Muñoz et al. (2021) logrando delimitar mejor el área de trabajo por medio de un navegador que coordina ambos robots mediante un control de fuerza/posición. En la misma línea, Batty et al. (2022) modelan mejoras para la estimación del entorno y una metodología de predicción del modelo de fuerza HC para mitigar los retrasos en el tiempo de comunicación del sistema, generando una retroalimentación háptica transparente y estable al cirujano en estos procedimientos quirúrgicos robóticos. Por último, nuevamente el equipo de Liu et al. (2022), proporcionan avances en esta línea diseñando un robot de retroalimentación de fuerza basado en amortiguadores de fluidos magnetorreológicos para hacer que la retroalimentación de fuerza sea precisa y rápida, pensado en aplicaciones para las cirugías de intervención cerebrovascular y cardíaca.

Finalmente, en el rubro de los servicios, la retroalimentación háptica es una tecnología fuertemente utilizada, por ejemplo, en el área de entornos peligrosos. Así lo muestran Fennel et al. (2022), quienes diseñan un Digital Twin Control System, compuesto por una interfaz de comunicación unificada sencilla, un sistema de visualización inmersivo y un sistema de representación háptica que simula brazos robóticos distintos, demostrando su efectivo uso por operadores no capacitados para recoger objetos contaminados. Por otro lado, Raviola et al. (2022), diseñan una interfaz fácil y simple en un entorno virtual con un joystick de juego, para ayudar de manera intuitiva al operador a controlar un robot colaborativo UR5 de Universal Robots en un espacio de trabajo compartido evitando posibles fallos en la teleoperación. También, Du & Zhang (2019) realizan una plataforma de pértiga robótica con gran espacio de operación y capacidad de intercambio automatizado de herramientas, simplificando la estructura del robot superior y el procedimiento de operación de mantenimiento de líneas eléctricas en vivo.

También en Asia, Zhang et al. (2018), desarrollan un esquema de detección basado en visión colaborativa (CVSS) para automatizar muebles robóticos móviles en entornos domésticos, lo que les permite comprender mejor la disposición interactiva de los humanos. Por su parte, Yang et al. (2018) llevan a cabo un método que combina el filtro de máquina de vectores de soporte (SVM) y control de variables,

para la atenuación de temblor integrada que involucra electromiograma de superficie, obteniendo un rendimiento superior en la teleoperación.

Su utilización también se expande a tareas de acondicionamiento de superficies como limpieza, pulido, raspado, lijado, etc., tal como lo muestran Gírbes-Juan et al. (2022), quienes desarrollan un sistema multimodal que combina háptica y un sistema de captura de movimiento inercial para robot de doble brazo de Baxter, lo que permite realizar simultáneamente dos operaciones independientes, reduciendo el tiempo de la tarea, aumentando el área de acondicionamiento y mejorando el control de la presión. Además, en la atención domiciliaria remota, Schol et al. (2021) presentan un método de control de rigidez para robots colaborativos que permite una modulación completa de la matriz de rigidez en 3 grados de libertad a través de retroalimentación háptica y visual, demostrando que la variación de los parámetros del sistema influye en el rendimiento del sistema.

2.3. Maestro-esclavo

El enfoque maestro-esclavo es otra de las tecnologías presentes en el funcionamiento de los robots teleoperados, destacando principalmente en labores que requieren de una alta precisión y destreza. En el área de la salud, esta tecnología ha proporcionado grandes mejoras a los sistemas robóticos remotos permitiéndoles realizar trabajos con mejor manipulabilidad y mayor precisión. Así lo demuestra el estudio de Torabi et al. (2020), donde mediante el uso de un robot maestro redundante se logra transferir más intuitivamente la destreza del robot esclavo al usuario, mejorando el control sobre la fuerza/velocidad de robots quirúrgicos durante operaciones clínicas. Asimismo, en el año 2021, Zhang et al. presentan el uso de un sistema robótico vascular remoto que puede mejorar la precisión y seguridad de las operaciones de enfermedades de las arterias coronarias, mejorando los resultados clínicos y la seguridad ocupacional. Por su parte, Yang et al. (2022), estudiando el uso de un controlador maestro interactivo isomórfico para los robots quirúrgicos intervencionistas, concluyeron que este permite completar la operación más rápido que el controlador anterior, además de reducir riesgos gracias a su dispositivo de retroalimentación de fuerza.

Los avances en los robots teleoperados utilizados en salud también han permitido que estos completen tareas con mayor rapidez y seguridad en procedimientos complementarios como la toma de muestras clínicas, es el caso del estudio de Takeuchi et al. (2022), quienes utilizan estos robots con mecanismo de centro de movimiento remoto variable para el trabajo de recolección de muestras, logrando que este procedimiento se realice de manera más rápida y segura que con mecanismos convencionales.

En el rubro de los servicios, se utiliza para mejorar el rendimiento de los robots teleoperados en espacios poco accesibles o riesgosos. En Australia, por ejemplo, se diseñó uno de ellos con sonda extensible, que tiene el potencial de contribuir en la planificación de mantenimiento del alcantarillado, facilitando la colocación y recuperación de sensores en espacios confinados, reduciendo riesgos ambientales y de seguridad (Ross et al., 2021a; Ross et al., 2021b). En el ámbito de los desastres naturales, los adelantos observados permiten a los robots proporcionar un mejor

reconocimiento del entorno, lo que ha servido para que los operadores humanos cuenten con más información para la toma de decisiones. Así lo muestra el estudio de Tamura et al. (2022), donde se propone un método de presentación de información basado en el modelo de control contextual probado en la extinción de incendios, y en el estudio de Verano et al. (2022), donde se diseña un robot de rescate para escenarios post-desastre que puede detectar automáticamente el movimiento de personas atrapadas, comprobando que ambos métodos han facilitado un accionar más eficiente, rápido y seguro.

Finalmente, en el sector industrial, este enfoque ha presentado mejoras en los sistemas de control de los robots para obtener operaciones más precisas, seguras y fluidas. Esto se puede observar especialmente en la utilización de brazos robóticos industriales, tal como lo muestra el estudio de Fan et al. (2019), en el que se señala que mediante el uso de dispositivos como Leap Motion y MYO Armband, se logra un mejor control del brazo robótico, permitiendo que siga los movimientos de la mano del operador en tiempo real y garantizando una mayor precisión y fluidez en las tareas realizadas. En esta misma línea, Senft et al. (2021), abordando el diseño de interfaces para el control remoto de un brazo robótico, proponen un sistema que usa tanto el control directo como el asíncrono, utilizando una interfaz de realidad aumentada unificada que permite reducir los retrasos en la comunicación.

2.4. Sistema operativo de robot (ROS)

De los artículos revisados, seis de ellos describen robots teleoperados cuya principal tecnología de funcionamiento es el Sistema Operativo de Robot (ROS) mostrando el desarrollo de herramientas que potencian y mejoran su funcionamiento. Por ejemplo, Whitney et al. (2018) diseñan un paquete de teleoperación de realidad virtual que se puede integrar fácilmente en marcos robóticos ya existentes, probando la eficacia del sistema mediante la realización de múltiples tareas de manipulación diestra y la viabilidad de las tareas de teleoperación robótica con el uso de realidad virtual. Por su parte, Petousakis et al. (2020), comprobaron la utilidad y efectividad de un controlador de iniciativa mixta consciente de la disponibilidad cognitiva para mejorar la operación remota de robots móviles.

En el desarrollo de tareas en ambientes peligrosos, Li et al. (2022), proponen un método de reconstrucción remota de ambientes interiores basado en la compresión incremental de nubes de puntos, demostrando que mejora la efectividad del mapeo 3D. En esta misma línea, implementando un prototipo de robot para detectar y capturar fuentes radiactivas, se demuestra que este reemplaza efectivamente el trabajo de los humanos en un ambiente de radiación y reduce el daño al medio ambiente cuando la fuente radiactiva está expuesta (Wang et al., 2020). Asimismo, Melvin et al. (2021), desarrollan un algoritmo de detección de objetos basado en una red neuronal convolucional (CNN) y un robot teleoperado reconfigurable, logrando la inspección automatizada de drenajes y con ello reduciendo los riesgos asociados a la inspección manual.

Finalmente, en Chile, un estudio demostró la viabilidad de la teleoperación de observatorios remotos utilizando el framework ROS, permitiendo operar

observatorios remotos sin depender de personal experto en astroingeniería (Villalobos Rivera & Gallardo Arancibia, 2018).

2.5. Interacción humano-robot (HRI)

Otra de las tecnologías utilizadas para el funcionamiento de los robots teleoperados es la de tipo interacción humano-robot (HRI), usada ampliamente para realizar diferentes funciones. Por ejemplo, en el rubro de los servicios de rescate, Xiao et al. (2020) desarrollan y verifican un método de interacción humano-robot basado en mapeo en tiempo real y visualización de realidad virtual en línea, demostrando su efectividad en la integración de la toma de decisiones y la planificación de rutas humanas con la capacidad de detección y modelado precisa del robot. Se señala que este método también puede aplicarse en otros sistemas de colaboración humano-robot basados en teleoperación fuera de la vista en diversas áreas como fabricación, espacial, submarina, quirúrgica, agrícola y militar.

Asimismo, en un estudio elaborado en el contexto de la inspección de naves espaciales, se analizan los efectos de distintas modalidades de visualización de la interfaz y la presencia humana en el circuito durante la teleoperación, evaluando variables como la conciencia, carga de trabajo, rendimiento y estrategias de los usuarios (Weiss et al., 2021).

En el rubro de la salud, Bucolo et al. (2022) realizan una revisión exhaustiva sobre los robots teleoperados de última generación utilizados en los procedimientos de ecografía médica, destacando la importancia de la participación médica en el diseño de estos dispositivos y señalando la necesidad de realizar investigaciones adicionales en distintos campos para satisfacer las demandas emergentes. En otro estudio (Alzahrani et al., 2022), se investiga la confianza humana hacia los robots en tres escenarios de interacción humano-robot: un perro robot que guía a personas con problemas de visión, un robot teleoperado en el cuidado de la salud y un robot de fabricación. Se resalta la necesidad de un diseño dinámico para modelar la confianza en estas interacciones, considerando los factores cambiantes y culturales para desarrollar interacciones exitosas entre humanos y robots. En esta misma línea, Damholdt et al. (2019), exploran la conceptualización de robots sociales por parte de las personas desde diferentes ángulos, presentando una combinación de metodología cuantitativa y cualitativa que permite, por un lado, reconocer reacciones más comunes, y, por otro lado, eliminar la ambigüedad y profundizar en ciertas reacciones, lo que se espera que, a futuro, pueda contribuir a crear un léxico de opiniones o sentimientos asociados a diferentes robots.

La interacción humano-robot también es bastante utilizada para labores productivas e industriales. Por ejemplo, en un estudio desarrollado por Berenstein & Edan (2017), en el área de la agricultura, se diseña un rociador colaborativo humano-robot para detectar y fumigar objetivos en un viñedo, demostrando la viabilidad de la colaboración humano-robot para la compleja tarea de la fumigación dirigida. El sistema de rociado colaborativo reduce la cantidad del material rociado en un 50%, lo que tiene impactos positivos tanto económicos como ambientales. Otra aplicación la muestran Kousi et al. (2019), donde se incorporó un paquete de software basado en Realidad Aumentada (AR) para apoyar la función de robots colaborativos en

tareas de ensamblaje en la industria automotriz, lo cual facilitó la comunicación entre los humanos y los robots móviles aumentando la calidad del trabajo de los operadores humanos y aumentando la flexibilidad del proceso dada su capacidad para navegar a diferentes estaciones de trabajo y cambiar herramientas para realizar diversas tareas de ensamblaje. En un contexto similar, Vagas & Galajdova (2022) plantean una aplicación colaborativa flexible que no requiere cambios significativos en la configuración de los entornos físicos de producción, la cual demuestra ser viable e idónea para los procesos de montaje colaborativo de objetos. Permite reducir significativamente el ciclo de ensamblaje y posee la capacidad de automatizar la operación, lo que refuerza la idea de que los cobots deben realizar operaciones ligeras y monótonas.

Así, para mejorar los procesos de producción, la interacción humano-robot es utilizada en robots teleoperados empleados en fábricas inteligentes. Así lo muestran Afrin et al. (2019), quienes exponen que, para desarrollar una mejor asignación de recursos en la gestión de emergencias en una fábrica inteligente, se diseñó un sistema multi-robot basado en Edge Cloud que reemplaza el sistema remoto basado en la nube, mostrando que este supera a los trabajos de última generación en al menos un 18 % en la optimización de los atributos de producción, energía y costo en varios escenarios. Asimismo, en un estudio desarrollado en Finlandia, se descubrió que el uso de cobots en las fábricas puede generar experiencias placenteras para los trabajadores (Chowdhury et al., 2021), argumentando que programar a los cobots de modo tal que desarrollen un comportamiento afectivo y lúdico puede ser adecuado en un entorno industrial, pues permite que se establezca un mejor vínculo entre el humano y el robot.

Los avances tecnológicos que se han presenciado en este rubro también posibilitan la propuesta de nuevas conceptualizaciones de robots, como es el caso del estudio de Ghosh et al. (2020), en donde se propone el concepto de robots con instrucciones remotas (RIR) para mejorar la teleoperación en la industria nuclear. Los RIR son confiables y dependen de la inteligencia humana, permitiendo la ejecución de tareas según las instrucciones del operador en diferentes niveles de complejidad. Se describe un modelo de agente RIR y su implementación potencial en las cajas de guantes nucleares para lograr una interacción innovadora entre humanos y robots.

La interacción humano-robot, además, hace uso de diferentes tecnologías de innovación para aumentar su eficiencia. Liu & Wang (2020), presentan un sistema de colaboración remoto humano-robot basado en sistemas ciberfísicos para la fabricación colaborativa. El sistema ofrece funciones de liderazgo del robot colaborativo en entornos peligrosos donde los humanos no pueden ingresar. Se diseñó, implementó y probó un sistema de control remoto de robots y un sistema de visualización basado en modelos, mostrando un gran potencial para su adopción en entornos de fabricación de peligros. Así también, Le et al. (2020), muestran una integración de interfaces de realidad virtual con el sistema de control de un manipulador móvil del mundo real, que fue desarrollado para un socio industrial en el sector minero. Consiste en una plataforma móvil articulada hecha a medida y un brazo robótico industrial UR3 de 6 grados de libertad (Universal Robots GmbH)

unido a un riel lineal, donde se demuestra que el uso de la plataforma VR en la teleoperación de robots remotos proporciona una ventaja frente a los métodos tradicionales utilizados.

2.6. Robots teleoperados en general

Por último, en esta sección se presentan aquellos artículos en que no es posible determinar la tecnología principal de funcionamiento de acuerdo con las categorías establecidas, pero que, sin embargo, son relevantes dado su aporte en el ámbito de la teleoperación. Por ejemplo, en Honduras, se desarrolla un robot para aplicaciones logísticas, considerando para su construcción la deformación, consumo de energía de la masa de la estructura, teleoperación por Wi-Fi y servidor web, obteniendo como resultados buenos tiempos de respuesta y control de un número ilimitado de variables (Ordoñez et al., 2022). También, en Chile, se utiliza un robot submarino (ROV) operado remotamente para el estudio de las comunidades epibentónicas en el fiordo Puyuhuapi a través de filmaciones, obteniendo como resultado que la información espaciotemporal y funcional entregada por el robot es una herramienta fundamental para el monitoreo de estos ecosistemas (Ortiz & Hamamé, 2022).

Otro estudio presenta la idea de robots autoalimentados impulsados por los nanogeneradores triboeléctricos (TENG), los cuales consisten en pequeños robots remotos para rescate en tierra o detección submarina que responden a los problemas de bajo suministro de energía y baja eficiencia de conversión, demostrando ser más eficientes en la generación de energía desde las perspectivas de la estructura mecánica, los materiales de los electrodos y las herramientas auxiliares (An et al., 2021). Estos se pueden aplicar como sistemas de suministro de energía en otros campos, como, por ejemplo, la detección, los dispositivos portátiles y la recolección de energía marina.

En lo que refiere a operaciones en entornos peligrosos, Dandurand et al. (2022) desarrollan un robot para realizar inspecciones en subestaciones de empresas eléctricas, logrando beneficios en seguridad del personal, eficiencia operativa y gestión de activos, especialmente en condiciones invernales adversas. Por su parte, en Japón, Yamada et al. (2021), estudian robots controlados remotamente utilizados en la central nuclear de Fukushima Daiichi (FDNPS) realizando tareas en los edificios del reactor, la descontaminación, la eliminación de escombros, etc., que permiten trabajar de manera más segura a los humanos.

En el área de la salud, también en Japón, Nihei et al. (2020), estudian la reacción de personas mayores que viven en una residencia de ancianos cuando un robot teleoperado se acerca para iniciar una conversación, a través de lo que ellos denominan “comportamiento de acercamiento”: mediante la observación de comportamientos robóticos y humanos, se obtiene como resultado una reacción positiva al acercamiento y comunicación con el robot.

Finalmente, Storms & Tilbury (2018), estudian cómo ciertos factores de la teleoperación, tales como el retraso de la comunicación, la asistencia autónoma y el diseño del entorno, tienen efectos en el rendimiento de los usuarios en la conducción de robots móviles. Los autores definen un índice de dificultad ambiental

(ID), demostrando que tiene la capacidad de predecir el tiempo promedio que le toma al operador conducir el robot a una ubicación objetivo, lo que busca contribuir a la configuración de robots utilizados en entornos operativos en que las condiciones deficientes de comunicación e intercambio dificulten el control en línea.

CONCLUSIONES

La creciente evolución de las tecnologías disruptivas a nivel mundial ha producido una gran variedad de tecnologías asociadas al funcionamiento, control y comunicación de los robots teleoperados, siendo materia de este artículo aquellas agrupadas en: retroalimentación bilateral, retroalimentación háptica, maestro-esclavo, sistema operativo de robot (ROS) e interacción humano-robot (HRI). Como se ha podido constatar, estas han sido incorporadas en robótica de múltiples formas y atendiendo a una gran diversidad de objetivos, lo que ha favorecido la inclusión de robots teleoperados en variadas tareas, rubros y sectores económicos de la sociedad.

Tal como lo muestra la revisión de literatura que hemos presentado, la producción científica sobre robots teleoperados en el trabajo industrial y de servicios ha experimentado una tendencia creciente en el tiempo, aumentando sostenidamente a través de los años que hemos abarcado (de un artículo en 2017 a 19 en 2022). Además, los estudios encontrados documentan experiencias del uso de robótica teleoperada en diferentes partes del mundo, lo que demuestra que su aplicación es posible en variados contextos y no está estrictamente condicionada a países desarrollados. En todo caso, el desarrollo de investigación al respecto tiene una clara predominancia en el continente asiático, con el liderazgo de China y Japón, seguido de Europa, zonas geográficas que suelen encabezar los avances tecnológicos globales.

Respecto del análisis del contenido de los artículos revisados, es posible constatar que, independiente de la tecnología predominante, la utilización de los robots teleoperados en los distintos rubros económicos es relativamente similar, puesto que la teleoperación en sí misma entrega ciertas ventajas transversales a cualquier actividad, destacando: la superación de las limitaciones geográficas, el acceso a lugares difíciles y/o peligrosos, mejora en la precisión de tareas de alta complejidad como las cirugías, la reducción del tiempo requerido para realizar determinadas tareas, la optimización de los procesos y la seguridad del personal humano.

Existen también, ciertas utilidades y beneficios particularmente asociados a cada uno de los rubros analizados, vale decir, la industria, los servicios y la medicina. Con relación a los aportes que los robots teleoperados proporcionan a la actividad industrial, se puede mencionar que permite automatizar y acelerar algunas tareas de la cadena productiva, como por ejemplo, el ensamblaje. Además, ha permitido mejorar el control de los brazos robóticos industriales, logrando un control más preciso, seguro y fluido. Todo ello contribuye a la transformación de las fábricas, tal como las conocemos hoy, en verdaderas fábricas inteligentes.

Respecto de los servicios, se puede observar que los robots teleoperados han permitido mejorar la eficiencia en la entrega de algunos servicios, siendo de gran ayuda para el personal humano, especialmente en aquellos que se realizan en entornos desafiantes, como el rescate y la labor en desastres naturales. En efecto, la robótica teleoperada posibilita ampliar la cobertura del servicio al acceder a lugares donde las personas no pueden, mejorando también su propia seguridad. Lo mismo ocurre en el rubro de la medicina, donde los robots logran expandir la visión

y capacidad de intervención de los cirujanos, disminuyendo su carga de trabajo y mejorando su concentración. Además, han obtenido resultados positivos en términos de mejorar la precisión, la seguridad y los resultados clínicos.

Todos estos aportes son posibles gracias a la cada vez mayor sofisticación y avance que presentan las tecnologías que están involucradas en el funcionamiento de los robots teleoperados. De las que se han detallado en esta revisión, una de las más relevantes tiene que ver con la retroalimentación háptica, que corresponde a la tecnología principal en el 40% de los artículos, además de ser mencionada en otros. Este tipo de retroalimentación es fundamental en la robótica contemporánea, pues permite complementar la percepción del entorno más allá de la posición/fuerza, a través de la entrega de información sensorial que permite al operador comprender de mejor forma el entorno en el que se desarrolla la tarea y así tomar mejores decisiones.

Además, hoy en día existe una gran cantidad de tecnologías adicionales que, aplicadas a la robótica, permiten mejorar y perfeccionar el diseño y rendimiento de los robots. Ejemplos de ello son la realidad virtual, realidad aumentada, entornos ciberfísicos, inteligencia artificial, entre otras. La inclusión de este tipo de avances permite mejorar la comunicación y la interacción de los operadores humanos con los robots y los entornos remotos en los que se encuentran, obteniendo información mucho más precisa y realista.

Finalmente, una de las principales temáticas sobre la cual se observan avances, pero se debe seguir investigando en el futuro es la interacción entre humanos y robots y todo lo que esta implica. Tal como se pudo constatar, la eficiencia del trabajo cooperativo entre humano-robot es mayor que entre robot-robot y la inclusión de robots en sectores donde se relacionan directamente con las personas es cada vez mayor, por lo que es fundamental indagar en los distintos aspectos que influyen en la confianza humana hacia los robots en distintos escenarios y generar diseños dinámicos para lograr interacciones exitosas considerando factores tecnológicos y culturales.

REFERENCIAS

- Afrin, M., Jin, J., Rahman, A., Tian, Y.-C., & Kulkarni, A. (2019). Multi-objective resource allocation for Edge Cloud based robotic workflow in smart factory. *Future Generation Computer Systems*, 97, 119–130. <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.02.062>
- Alzahrani, A., Robinson, S., & Ahmad, M. (2022). Exploring Factors Affecting User Trust Across Different Human-Robot Interaction Settings and Cultures. *Proceedings of the 10th International Conference on Human-Agent Interaction*, 123–131. <https://doi.org/10.1145/3527188.3561920>
- An, X., Wang, C., Shao, R., & Sun, S. (2021). Advances and prospects of triboelectric nanogenerator for self-powered system. *International Journal of Smart and Nano Materials*, 12(3), 233–255. <https://doi.org/10.1080/19475411.2021.1973143>
- Basañez, L., Nuño, E., & Aldana, C. I. (2023). Teleoperation and Level of Automation. In S. Nof (Ed.), *Springer Handbook of Automation* (pp. 457–482). https://doi.org/10.1007/978-3-030-96729-1_20
- Batty, T., Ehrampoosh, A., Shirinzadeh, B., Zhong, Y., & Smith, J. (2022). A Transparent Teleoperated Robotic Surgical System with Predictive Haptic Feedback and Force Modelling. *Sensors*, 22(24), 9770. <https://doi.org/10.3390/s22249770>
- Berenstein, R., & Edan, Y. (2017). Human-robot collaborative site-specific sprayer. *Journal of Field Robotics*, 34(8), 1519–1530. <https://doi.org/10.1002/rob.21730>
- Blake, J., Burroughes, G., & Zhang, K. (2022). Automatic, Vision-Based Tool Changing Solution for Dexterous Teleoperation Robots in a Nuclear Glovebox (pp. 311–325). https://doi.org/10.1007/978-3-031-15908-4_24
- Bucolo, M., Bucolo, G., Buscarino, A., Fiumara, A., Fortuna, L., & Gagliano, S. (2022). Remote Ultrasound Scan Procedures with Medical Robots: Towards New Perspectives between Medicine and Engineering. *Applied Bionics and Biomechanics*, 2022, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2022/1072642>
- Buitrago-Salazar, G., Ramos-Sandoval, O. L., & Amaya -Hurtado, D. (2016). Sistema de telerobótica para entrenamiento en asistencia quirúrgica. *Ingeniería Mecánica*, 19(3), 119–127.
- Butters, D., Jonasson, E. T., & Pawar, V. M. (2021). Exploring Effects of Information Filtering With a VR Interface for Multi-Robot Supervision. *Frontiers in Robotics and AI*, 8. <https://doi.org/10.3389/frobt.2021.692180>
- Chowdhury, A., Ahtinen, A., Pieters, R., & Vaananen, K. (2021). “How are you today, Panda the Robot?” – Affectiveness, Playfulness and Relatedness in Human-Robot Collaboration in the Factory Context. 2021 30th IEEE International

- Conference on Robot & Human Interactive Communication (RO-MAN), 1089–1096. <https://doi.org/10.1109/RO-MAN50785.2021.9515351>
- Codina, L. (2020). Cómo hacer revisiones bibliográficas tradicionales o sistemáticas utilizando bases de datos académicas. *Revista ORL*, 11(2), 139–153. <https://doi.org/10.14201/orl.22977>
- Damholdt, M. F., Christina, V., Kryvov, A., Smedegaard, C. V., & Seibt, J. (2019). What is in three words? Exploring a three-word methodology for assessing impressions of a social robot encounter online and in real life. *Paladyn, Journal of Behavioral Robotics*, 10(1), 438–453. <https://doi.org/10.1515/pjbr-2019-0034>
- Dandurand, P., Beaudry, J., Hebert, C., Mongenot, P., Bourque, J., & Hovington, S. (2022). All-weather autonomous inspection robot for electrical substations. *2022 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII)*, 303–308. <https://doi.org/10.1109/SII52469.2022.9708835>
- Du, L., & Zhang, W. (2019). A teleoperated robotic hot stick platform for the overhead live powerline maintenance tasks. *2019 IEEE 4th International Conference on Advanced Robotics and Mechatronics (ICARM)*, 643–648. <https://doi.org/10.1109/ICARM.2019.8833688>
- Fan, Y., Yang, C., & Wu, X. (2019). Improved Teleoperation of an Industrial Robot Arm System Using Leap Motion and MYO Armband. *2019 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, 1670–1675. <https://doi.org/10.1109/ROBIO49542.2019.8961758>
- Fennel, M., Zea, A., & Hanebeck, U. D. (2022). Intuitive and immersive teleoperation of robot manipulators for remote decontamination. *At - Automatisierungstechnik*, 70(10), 888–899. <https://doi.org/10.1515/auto-2022-0057>
- Franzluebbers, A., & Johnson, K. (2019). Remote Robotic Arm Teleoperation through Virtual Reality. *Symposium on Spatial User Interaction*, 1–2. <https://doi.org/10.1145/3357251.3359444>
- Ghosh, A., Paredes Soto, D. A., Veres, S. M., & Rossiter, A. (2020). Human Robot Interaction for Future Remote Manipulations in Industry 4.0. *IFAC-PapersOnLine*, 53(2), 10223–10228. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.2752>
- Girbés-Juan, V., Schettino, V., Gracia, L., Solanes, J. E., Demir, Y., & Tornero, J. (2022). Combining haptics and inertial motion capture to enhance remote control of a dual-arm robot. *Journal on Multimodal User Interfaces*, 16(2), 219–238. <https://doi.org/10.1007/s12193-021-00386-8>
- Grant, M. J., & Booth, A. (2009). A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information & Libraries Journal*, 26(2), 91–108. <https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x>

- Hossian, A., Merlino, H., & Alveal, E. (2020, octubre). Desarrollo e impacto del campo de la robótica en América Latina: hacia una propuesta superadora en el contexto de la IV revolución industrial. II Simposio Argentino de Historia, Tecnologías e Informática. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/116809>
- Hulin, T., Panzirsch, M., Singh, H., Coelho, A., Balachandran, R., Pereira, A., Weber, B. M., Bechtel, N., Riecke, C., Brunner, B., Lii, N. Y., Klodmann, J., Hellings, A., Hagmann, K., Quere, G., Bauer, A. S., Sierotowicz, M., Lampariello, R., Vogel, J., ... Albu-Schäffer, A. (2021). Model-Augmented Haptic Telemanipulation: Concept, Retrospective Overview, and Current Use Cases. *Frontiers in Robotics and AI*, 8. <https://doi.org/10.3389/frobt.2021.611251>
- Ishibashi, Y., Huang, P., & Psannis, K. E. (2021). Enhanced Robot Position Control Using Force Information for Mobile Robots: Influences of Obstacles on Cooperative Work. 2021 IEEE 9th International Conference on Information, Communication and Networks (ICICN), 555–559. <https://doi.org/10.1109/ICICN52636.2021.9673837>
- Ishibashi, Y., Taguchi, E., Huang, P., & Tateiwa, Y. (2019). Robot Position Control with Force Information in Cooperation between Remote Robot Systems. 2019 5th International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR), 147–151. <https://doi.org/10.1109/ICCAR.2019.8813396>
- Ishikawa, S., Ishibashi, Y., Huang, P., & Tateiwa, Y. (2020a). Effects of Robot Position Control Using Force Information in Remote Robot Systems with Force Feedback: Comparison between Human-Robot and Robot-Robot Cases. 2020 2nd International Conference on Computer Communication and the Internet (ICCCI), 179–183. <https://doi.org/10.1109/ICCCI49374.2020.9145962>
- Ishikawa, S., Ishibashi, Y., Huang, P., & Tateiwa, Y. (2020b). Influences of Network Delay on Cooperative Work between Remote Robots with Force Feedback. 2020 IEEE 6th International Conference on Computer and Communications (ICCC), 548–552. <https://doi.org/10.1109/ICCC51575.2020.9345197>
- Jurisica, L., Duchon, F., Dekan, M., Babinec, A., & Paszto, P. (2018). General concepts of teleoperated systems. 2018 ELEKTRO, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ELEKTRO.2018.8398365>
- Kim, J., Lee, W., Kang, S., Cho, K.-J., & Kim, C. (2020). A Needlescopic Wrist Mechanism With Articulated Motion and Kinematic Tractability for Micro Laparoscopic Surgery. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 25(1), 229–238. <https://doi.org/10.1109/TMECH.2019.2947072>
- Kousi, N., Stoubos, C., Gkournelos, C., Michalos, G., & Makris, S. (2019). Enabling Human Robot Interaction in flexible robotic assembly lines: an Augmented Reality based software suite. *Procedia CIRP*, 81, 1429–1434. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.328>

- Lau, J. G., Verduzco Lupián, A., Chávez Montejano, F., Charre Ibarra, S., Alcalá Rodríguez, J., & Durán Fonseca, M. (2019). Teleoperación unilateral mediante un PD. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías Del ICBI*, 7(Especial), 80–87. <https://doi.org/10.29057/icbi.v7iEspecial.4466>
- Le, D. T., Sutjipto, S., Lai, Y., & Paul, G. (2020). Intuitive Virtual Reality based Control of a Real-world Mobile Manipulator. 2020 16th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV), 767–772. <https://doi.org/10.1109/ICARCV50220.2020.9305517>
- Li, Y., Gao, J., Wang, X., Chen, Y., & He, Y. (2022). Depth camera based remote three-dimensional reconstruction using incremental point cloud compression. *Computers and Electrical Engineering*, 99, 107767. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2022.107767>
- Li, Y., & Hannaford, B. (2018). Soft-obstacle Avoidance for Redundant Manipulators with Recurrent Neural Network. 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 3022–3027. <https://doi.org/10.1109/IROS.2018.8594346>
- Liu, F., Leleve, A., Eberard, D., & Redarce, T. (2020). An energy based approach for passive dual-user haptic training systems. 2016 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 5246–5251. <https://doi.org/10.1109/IROS.2016.7759771>
- Liu, H., & Wang, L. (2020). Remote human–robot collaboration: A cyber–physical system application for hazard manufacturing environment. *Journal of Manufacturing Systems*, 54, 24–34. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.11.001>
- Liu, Z., Wang, S., Feng, F., & Xie, L. (2022). A Magnetorheological Fluid Based Force Feedback Master Robot for Vascular Interventional Surgery. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 106(1), 20. <https://doi.org/10.1007/s10846-022-01716-y>
- Lopez Pulgarin, E. J., Tokatli, O., Burroughes, G., & Herrmann, G. (2022). Assessing tele-manipulation systems using task performance for glovebox operations. *Frontiers in Robotics and AI*, 9. <https://doi.org/10.3389/frobt.2022.932538>
- Melvin, L. M. J., Mohan, R. E., Semwal, A., Palanisamy, P., Elangovan, K., Gómez, B. F., Ramalingam, B., & Terntzer, D. N. (2021). Remote drain inspection framework using the convolutional neural network and re-configurable robot Raptor. *Scientific Reports*, 11(1), 22378. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01170-0>
- Muñoz, V. F., Garcia-Morales, I., Fraile-Marinero, J. C., Perez-Turiel, J., Muñoz-Garcia, A., Bauzano, E., Rivas-Blanco, I., Sabater-Navarro, J. M., & Fuente, E. de la. (2021). Collaborative Robotic Assistant Platform for Endonasal Surgery: Preliminary In-Vitro Trials. *Sensors*, 21(7), 2320. <https://doi.org/10.3390/s21072320>

- Naceri, A., Mazzanti, D., Bimbo, J., Prattichizzo, D., Caldwell, D. G., Mattos, L. S., & Deshpande, N. (2019). Towards a Virtual Reality Interface for Remote Robotic Teleoperation. 2019 19th International Conference on Advanced Robotics (ICAR), 284–289. <https://doi.org/10.1109/ICAR46387.2019.8981649>
- Nihei, M., Nakamura, M., Ikeda, K., Kawamura, K., Yamashita, H., & Kamata, M. (2020). Approaching Behavior Analysis for Improving a Mobile Communication Robot in a Nursing Home. In *Lecture Notes in Computer Science* (pp. 679–688). https://doi.org/10.1007/978-3-030-60149-2_51
- Ordonez-Avila, J. L., Perdomo, M. E., Cardona, M., Estevez, C., Bonilla, F. D., Pineda, L. J., & Carrasco, A. M. (2022). Study Case: Fabrication of a Low-Cost Robotic Mobile Platform for Logistic Purposes. 2022 IEEE Central America and Panama Student Conference (CONESCAPAN), 1–6. <https://doi.org/10.1109/CONESCAPAN56456.2022.9959686>
- Ortiz Saini, P., & Hamamé Villablanca, M. (2022). Distribución de las comunidades epibentónicas y caracterización de hábitats en el fiordo Puyuhuapi (45°S). *Anales Del Instituto de La Patagonia*, 50, 1–19. <https://doi.org/10.22352/AIP202250013>
- Petousakis, G., Chiou, M., Nikolaou, G., & Stolkin, R. (2020). Human operator cognitive availability aware Mixed-Initiative control. 2020 IEEE International Conference on Human-Machine Systems (ICHMS), 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICHMS49158.2020.9209582>
- Qian, Q., Ishibashi, Y., Huang, P., & Tateiwa, Y. (2020). Cooperative Work among Humans and Robots in Remote Robot Systems with Force Feedback. *Proceedings of the 2020 8th International Conference on Information and Education Technology*, 306–310. <https://doi.org/10.1145/3395245.3396418>
- Raviola, A., Coccia, A., De Martin, A., Bertolino, A. C., Mauro, S., & Sorli, M. (2022). Development of a Human-Robot Interface for a Safe and Intuitive Telecontrol of Collaborative Robots in Industrial Applications (pp. 556–563). https://doi.org/10.1007/978-3-031-04870-8_65
- Ross, R., Carver, S., Browne, E., & Thai, B. S. (2021a). WomBot: an exploratory robot for monitoring wombat burrows. *SN Applied Sciences*, 3(647). <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04595-4>
- Ross, R., Stumpf, A., Barnett, D., & Hall, R. (2021b). Condition Assessment for Concrete Sewer Pipes Using Displacement Probes: A Robotic Design Case Study. *Robotics*, 10(64). <https://doi.org/10.3390/robotics10020064>
- Rozo-García, F. (2020). Revisión de las tecnologías presentes en la industria 4.0. *Revista UIS Ingenierías*, 19(2), 177–191. <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n2-2020019>
- Schol, J., Hofland, J., Heemskerk, C. J. M., Abbink, D. A., & Peternel, L. (2021). Design and Evaluation of Haptic Interface Wiggling Method for Remote

- Commanding of Variable Stiffness Profiles. 2021 20th International Conference on Advanced Robotics (ICAR), 172–179. <https://doi.org/10.1109/ICAR53236.2021.9659476>
- Senft, E., Hagenow, M., Welsh, K., Radwin, R., Zinn, M., Gleicher, M., & Mutlu, B. (2021). Task-Level Authoring for Remote Robot Teleoperation. *Frontiers in Robotics and AI*, 8. <https://doi.org/10.3389/frobt.2021.707149>
- Seo, S. H., Young, J. E., & Irani, P. (2021). How are Your Robot Friends Doing? A Design Exploration of Graphical Techniques Supporting Awareness of Robot Team Members in Teleoperation. *International Journal of Social Robotics*, 13(4), 725–749. <https://doi.org/10.1007/s12369-020-00670-9>
- Sorgini, F., Farulla, G. A., Lukic, N., Danilov, I., Roveda, L., Milivojevic, M., Pulikottil, T. B., Carrozza, M. C., Prinetto, P., Tolio, T., Oddo, C. M., Petrovic, P. B., & Bojovic, B. (2020). Tactile sensing with gesture-controlled collaborative robot. 2020 IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 & IoT, 364–368. <https://doi.org/10.1109/MetroInd4.0IoT48571.2020.9138183>
- Storms, J., & Tilbury, D. (2018). A New Difficulty Index for Teleoperated Robots Driving through Obstacles. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 90, 147–160. <https://doi.org/10.1007/s10846-017-0651-1>
- Takeuchi, M., Hironaka, Y., Aoyama, T., & Hasegawa, Y. (2022). Intuitive Remote Robotic Nasal Sampling by Orientation Control With Variable RCM in Limited Space. *IEEE Transactions on Medical Robotics and Bionics*, 4(3), 646–655. <https://doi.org/10.1109/TMRB.2022.3176100>
- Tamura, Y., Amano, H., & Ota, J. (2022). Information presentation method for teleoperated robots to support the multifaceted understanding of fire sites. *ROBOMECH Journal*, 9(10). <https://doi.org/10.1186/s40648-022-00224-w>
- Torabi, A., Khadem, M., Zareinia, K., Sutherland, G. R., & Tavakoli, M. (2020). Using a Redundant User Interface in Teleoperated Surgical Systems for Task Performance Enhancement. *Robotica*, 38(10), 1880–1894. <https://doi.org/10.1017/S0263574720000326>
- Toyoda, Y., Ishibashi, Y., Huang, P., Tateiwa, Y., & Watanabe, H. (2020). Efficiency of Cooperation between Remote Robot Systems with Force Feedback-Comparison with Cooperation between User and Remote Robot System. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 900–905. <https://doi.org/10.18178/ijmerr.9.6.900-905>
- Vagas, M., & Galajdova, A. (2022). Methodology For Cobots Implementation Into The Assembly Applications. *MM Science Journal*, 2, 5638–5642. https://doi.org/10.17973/MMSJ.2022_06_2022016
- Valenzuela-Urrutia, D., Muñoz-Riffo, R., & Ruiz-del-Solar, J. (2019). Virtual Reality-Based Time-Delayed Haptic Teleoperation Using Point Cloud Data. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 96, 387–400. <https://doi.org/10.1007/s10846-019-00988-1>

- Verano, R., Caceres, J., Arenas, A., Montoya, A., Guevara, J., Galdos, J., & Talavera, J. (2022). Development of a Low-Cost Teleoperated Explorer Robot (TXRob). *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 13(7), 897–903. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2022.01307104>
- Villalobos Rivera, A., & Gallardo Arancibia, J. (2018). Diseño e implementación de un observatorio robótico teleoperado basado en Robot Operating System. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 26, 12–19. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052018000500012>
- Wang, T., Zhao, Y., Zhu, L., Liu, G., Ma, Z., & Zheng, J. (2020). Design of robot system for radioactive source detection based on ROS. 2020 Chinese Automation Congress (CAC), 1397–1400. <https://doi.org/10.1109/CAC51589.2020.9326524>
- Watanabe, H., Ishibashi, Y., & Huang, P. (2019). A Stability Analysis of Haptic Systems by Using Difference Differential Equation From the view point of characteristic equation. 2019 2nd World Symposium on Communication Engineering (WSCE), 127–132. <https://doi.org/10.1109/WSCE49000.2019.9041038>
- Weiss, H., Liu, A., Byon, A., Blossom, J., & Stirling, L. (2021). Comparison of Display Modality and Human-in-the-Loop Presence for On-Orbit Inspection of Spacecraft. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 1–15. <https://doi.org/10.1177/00187208211042782>
- Whitney, D., Rosen, E., Ullman, D., Phillips, E., & Tellex, S. (2018). ROS Reality: A Virtual Reality Framework Using Consumer-Grade Hardware for ROS-Enabled Robots. 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 1–9. <https://doi.org/10.1109/IROS.2018.8593513>
- Xi, B., Wang, S., Ye, X., Cai, Y., Lu, T., & Wang, R. (2019). A robotic shared control teleoperation method based on learning from demonstrations. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 16(4), 1–13. <https://doi.org/10.1177/1729881419857428>
- Xiao, J., Wang, P., Lu, H., & Zhang, H. (2020). A three-dimensional mapping and virtual reality-based human–robot interaction for collaborative space exploration. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 17(3), 1–10. <https://doi.org/10.1177/1729881420925293>
- Yamada, T., Abe, H., & Kawabata, K. (2021). Development of Testing Method Considering Tasks with Remotely Controlled Robots in Fukushima Daiichi Nuclear Power Station. 2021 IEEE International Conference on Intelligence and Safety for Robotics (ISR), 131–134. <https://doi.org/10.1109/ISR50024.2021.9419524>

- Yang, C., Guo, S., & Bao, X. (2022). An Isomorphic Interactive Device for the Interventional Surgical Robot after In Vivo Study. *Micromachines*, 13(1), 111. <https://doi.org/10.3390/mi13010111>
- Yang, C., Luo, J., Pan, Y., Liu, Z., & Su, C.-Y. (2018). Personalized Variable Gain Control With Tremor Attenuation for Robot Teleoperation. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 48(10), 1759–1770. <https://doi.org/10.1109/TSMC.2017.2694020>
- Yang, C., Luo, J., & Wang, N. (2023). Chapter One: Introduction. In *Human-In-the-loop Learning and Control for Robot Teleoperation* (pp. 1–15). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-32-395143-2.00005-X>
- Zhang, L.-S., Liu, S.-Q., Xie, X.-L., Zhou, X.-H., Hou, Z.-G., Zhou, Y.-J., Zhao, H.-L., & Gui, M.-J. (2021). An Improved Networked Predictive Controller for Vascular Robot Using 5G Networks. 2021 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC), 4674–4678. <https://doi.org/10.1109/EMBC46164.2021.9630311>
- Zhang, Z., Chen, Z., & Li, W. (2018). Automating Robotic Furniture with A Collaborative Vision-based Sensing Scheme. 2018 27th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN), 719–725. <https://doi.org/10.1109/ROMAN.2018.8525783>
- Zhou, T., Zhu, Q., Shi, Y., & Du, J. (2022). Construction Robot Teleoperation Safeguard Based on Real-Time Human Hand Motion Prediction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 148(7). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0002289](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002289)
- Zhu, Q., Du, J., Shi, Y., & Wei, P. (2021). Neurobehavioral assessment of force feedback simulation in industrial robotic teleoperation. *Automation in Construction*, 126, 103674. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103674>