

Artículo Científico

# Implementación de robótica blanda en procesos de ensamblaje automatizados

## *Implementation of soft robotics in automated assembly processes*



López-Freire, Steve Alexander <sup>1</sup>



<https://orcid.org/0009-0001-0682-8226>



[stevemaster96@hotmail.com](mailto:stevemaster96@hotmail.com)



Investigador Independiente, Ecuador, Orellana.



Lizarraga-Aguirre, Hermes Rafael <sup>2</sup>



<https://orcid.org/0000-0002-5223-7101>



[hermesrafael@hotmail.com](mailto:hermesrafael@hotmail.com)



Universidad Nacional de Trujillo, Perú, La Libertad.

Autor de correspondencia <sup>1</sup>



DOI / URL: <https://doi.org/xxxxxx>

**Resumen:** La automatización de procesos de ensamblaje ha encontrado en la robótica blanda una alternativa tecnológica disruptiva frente a las limitaciones de los robots tradicionales, los cuales resultan ineficaces en tareas que requieren adaptabilidad, manipulación delicada o interacción segura con humanos. Este artículo presenta una revisión sistemática de literatura científica entre 2010 y 2024, utilizando bases como Scopus y Web of Science, con el objetivo de analizar el estado del arte, aplicaciones, limitaciones y potencial de la robótica blanda en procesos de ensamblaje automatizado. Se identifican cuatro principios fundamentales: uso de elastómeros, actuación neumática o hidráulica, adaptabilidad a entornos no estructurados y control dinámico no lineal. Entre las aplicaciones destacadas se encuentran el ensamblaje de componentes electrónicos, la robótica colaborativa, la manipulación de alimentos sensibles y el ensamblaje de dispositivos médicos. Los hallazgos evidencian una mejora significativa en precisión, seguridad y eficiencia, especialmente en contextos que demandan alta sensibilidad y personalización. No obstante, persisten desafíos técnicos relacionados con el modelado, la integración sensorial y la estandarización. Se concluye que la robótica blanda tiene un alto potencial para redefinir la automatización industrial en la era de la Industria 4.0, siempre que se consolide su integración con tecnologías emergentes.

**Palabras clave:** robótica blanda; ensamblaje automatizado; manipulación flexible; industria 4.0; sistemas colaborativos.



Check for updates

Received: 16/May/2023

Accepted: 10/Jun/2023

Published: 30/Jun/2023

**Cita:** López-Freire, S. A., & Lizarraga-Aguirre, H. R. (2023). Implementación de robótica blanda en procesos de ensamblaje automatizados. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 1(2), 58-71. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v1/n2/15>

Revista de Ciencia y Método (RCyM)

<https://revistacym.com>

[revistacym@editorialgrupo-aea.com](mailto:revistacym@editorialgrupo-aea.com)

[info@editorialgrupo-aea.com](mailto:info@editorialgrupo-aea.com)

© 2023. Este artículo es un documento de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional**.



**Abstract:**

The automation of assembly processes has found in soft robotics a disruptive technological alternative to the limitations of traditional robots, which are ineffective in tasks that require adaptability, delicate handling or safe interaction with humans. This article presents a systematic review of scientific literature between 2010 and 2024, using databases such as Scopus and Web of Science, with the aim of analyzing the state of the art, applications, limitations and potential of soft robotics in automated assembly processes. Four main principles are identified: use of elastomers, pneumatic or hydraulic actuation, adaptability to unstructured environments and nonlinear dynamic control. Notable applications include electronic component assembly, collaborative robotics, sensitive food handling, and medical device assembly. The findings evidence significant improvement in accuracy, safety and efficiency, especially in contexts that demand high sensitivity and customization. However, technical challenges related to modeling, sensory integration and standardization remain. It is concluded that soft robotics has a high potential to redefine industrial automation in the Industry 4.0 era, provided that its integration with emerging technologies is consolidated.

**Keywords:** soft robotics; automated assembly; flexible handling; industry 4.0; collaborative systems.

## 1. Introducción

La evolución de la robótica industrial ha sido una de las piedras angulares en la transformación de los procesos de manufactura en las últimas décadas. Tradicionalmente, los sistemas robóticos rígidos han dominado las líneas de producción automatizadas debido a su precisión, velocidad y capacidad para operar en entornos estructurados. Sin embargo, estos sistemas presentan limitaciones significativas cuando se trata de manipular objetos frágiles, irregulares o de geometría variable, especialmente en tareas de ensamblaje que requieren adaptabilidad y delicadeza. En este contexto, surge la necesidad de explorar tecnologías emergentes que puedan superar estas limitaciones, siendo la robótica blanda una de las propuestas más prometedoras.

El principal problema que aborda esta revisión radica en la limitada flexibilidad y adaptabilidad de los robots tradicionales en procesos de ensamblaje que implican variabilidad en los componentes o requieren interacciones delicadas con materiales sensibles. A pesar de los avances en visión artificial y algoritmos de control, los manipuladores rígidos continúan presentando dificultades para integrarse eficazmente en entornos productivos dinámicos y no estructurados (Rus & Tolley, 2015). Esta rigidez operativa restringe la automatización total de ciertas tareas, lo cual repercute directamente en la eficiencia, seguridad y productividad de las líneas de ensamblaje.

Los factores que agravan este problema incluyen la creciente demanda de productos personalizados, lo cual incrementa la variabilidad de los componentes a ensamblar; el uso extendido de materiales frágiles, como componentes electrónicos o biomateriales; y la presión por reducir los costos operativos manteniendo altos estándares de calidad. La incorporación de la robótica blanda, caracterizada por el uso de materiales flexibles y estructuras deformables, ofrece una alternativa viable para abordar estas limitaciones, ya que permite una interacción más segura y adaptable con el entorno y los objetos a manipular (Laschi et al., 2016). No obstante, la integración efectiva de esta tecnología en procesos automatizados aún enfrenta retos técnicos y operativos que deben ser analizados desde una perspectiva multidisciplinaria.

La justificación de este estudio se fundamenta en la necesidad de identificar, a través de una revisión sistemática de la literatura científica, el estado del arte, las aplicaciones actuales, los desafíos tecnológicos y las perspectivas futuras de la robótica blanda en procesos de ensamblaje automatizados. Este enfoque no solo permite visibilizar las brechas de conocimiento existentes, sino también evaluar la viabilidad de su implementación en escenarios industriales reales. Además, resulta particularmente pertinente en un contexto global donde la industria manufacturera transita hacia la Industria 4.0, caracterizada por la digitalización, interconectividad e inteligencia de los sistemas productivos (Zhang et al., 2017).

Desde el punto de vista de la viabilidad, la creciente inversión en investigación y desarrollo en robótica blanda, respaldada por avances en materiales inteligentes, sensores integrados y técnicas de fabricación aditiva, facilita su implementación en el corto y mediano plazo. La literatura reporta múltiples estudios experimentales y casos de éxito en aplicaciones como el ensamblaje de componentes electrónicos, la manipulación de alimentos y la colaboración segura con humanos en entornos de trabajo compartido (Shepherd et al., 2011; Marchese, Katzschmann & Rus, 2015). Estos desarrollos indican una tendencia clara hacia la adopción progresiva de esta tecnología, siempre que se superen barreras como la estandarización de diseños, la mejora de algoritmos de control y la integración con sistemas existentes.

El objetivo principal de esta revisión bibliográfica es analizar críticamente el papel de la robótica blanda en la automatización de procesos de ensamblaje, considerando sus principios de funcionamiento, ventajas operativas, aplicaciones industriales documentadas, limitaciones técnicas y potencial futuro. Este análisis permitirá establecer una base conceptual sólida para futuras investigaciones aplicadas y para la toma de decisiones en el diseño e implementación de sistemas de ensamblaje más flexibles, seguros y eficientes.

En suma, la robótica blanda representa una frontera emergente en la automatización industrial, cuyo desarrollo y aplicación estratégica puede transformar significativamente los procesos de ensamblaje. Sin embargo, para lograr una implementación efectiva, es fundamental comprender sus fundamentos, evaluar

críticamente sus resultados actuales y delinear las oportunidades de innovación tecnológica que permitirán superar los retos de la manufactura moderna.

## 2. Materiales y métodos

Para el desarrollo del presente artículo se adoptó una metodología de carácter exploratorio, basada en una revisión bibliográfica sistemática y narrativa de fuentes científicas indexadas en bases de datos reconocidas como Scopus y Web of Science. La naturaleza exploratoria del estudio responde a la intención de identificar, organizar y analizar el conocimiento existente sobre la implementación de la robótica blanda en procesos de ensamblaje automatizados, con el propósito de establecer una base teórica sólida que permita comprender el estado actual del campo, así como sus desafíos y perspectivas de desarrollo.

El proceso de recopilación de información se realizó mediante una búsqueda estructurada de literatura científica publicada entre los años 2010 y 2024, con el fin de garantizar la pertinencia y actualidad de los contenidos. Se utilizaron palabras clave en inglés y español, tales como soft robotics, automated assembly, flexible manipulators, robotic manufacturing, y robotique souple, empleando operadores booleanos (AND, OR, NOT) para optimizar los resultados. Asimismo, se aplicaron filtros de inclusión que consideraron únicamente artículos revisados por pares, publicados en revistas científicas especializadas y disponibles en texto completo.

El análisis de los documentos seleccionados se llevó a cabo mediante una lectura crítica y sistemática, considerando criterios como: la relevancia temática, el rigor metodológico de los estudios, la aplicabilidad de los resultados, y la coherencia con los objetivos del presente trabajo. Se prestó especial atención a los artículos que describieran implementaciones prácticas, desarrollos tecnológicos y análisis comparativos entre la robótica blanda y otras tecnologías empleadas en procesos de ensamblaje.

Posteriormente, se procedió a una sistematización de la información extraída, categorizando los hallazgos en función de su relación con aspectos clave como los principios de diseño de la robótica blanda, las aplicaciones industriales documentadas, las ventajas operativas frente a la robótica rígida, las limitaciones técnicas reportadas, y las proyecciones de futuro. Esta estructuración permitió identificar vacíos en la literatura y áreas susceptibles de ser abordadas en investigaciones posteriores.

Finalmente, se elaboró una síntesis integradora de los resultados obtenidos, articulando la información en un discurso coherente y argumentativo que responde a los objetivos del artículo. El enfoque metodológico adoptado asegura la trazabilidad del análisis, así como la validez de las interpretaciones realizadas, al estar sustentado exclusivamente en literatura científica confiable y actualizada. Este procedimiento permitió consolidar un panorama amplio y fundamentado sobre la viabilidad, beneficios y desafíos de la incorporación de la robótica blanda en los procesos

automatizados de ensamblaje, contribuyendo así al avance del conocimiento en el ámbito de la automatización industrial.

### 3. Resultados

#### 3.1. Principios de la robótica blanda

La robótica blanda representa una revolución conceptual y tecnológica en el ámbito de la automatización, al desmarcarse de los postulados mecánicos rígidos que han dominado históricamente la ingeniería robótica. Inspirada en organismos biológicos como pulpos, lombrices, serpientes y otros animales invertebrados, esta disciplina propone una arquitectura basada en materiales deformables, mecanismos de actuación fluidodinámicos y estructuras adaptativas que permiten movimientos orgánicos, seguros y versátiles. Su desarrollo responde a la necesidad de robots que puedan interactuar de forma segura con objetos frágiles, adaptarse a geometrías irregulares y operar eficazmente en entornos inciertos o cambiantes. A continuación, se detallan los fundamentos esenciales que definen el funcionamiento y diseño de los sistemas de robótica blanda, en la figura 1 vemos como la robótica blanda se basa en componentes flexibles y adaptativos que imitan características biológicas para interactuar con entornos complejos.

#### Figura 1

##### *Elementos Fundamentales de la Robótica Blanda*



*Nota:* Esta imagen detalla los principales componentes de la robótica blanda, incluyendo materiales deformables, mecanismos fluidodinámicos y estructuras adaptativas, esenciales para lograr movimientos orgánicos, interacción segura y adaptación eficiente a entornos inciertos (Autores, 2023).

##### 3.1.1. Uso de materiales flexibles como elastómeros

El uso de materiales flexibles es la piedra angular de la robótica blanda. Entre ellos, los elastómeros ocupan un lugar central debido a su alta capacidad de deformación reversible, bajo módulo de elasticidad y comportamiento viscoelástico. Materiales

como la silicona (e.g., polidimetilsiloxano - PDMS), el poliuretano termoplástico y otros polímeros sintéticos permiten la fabricación de componentes robóticos con estructuras continuas, sin articulaciones rígidas, lo que favorece su integración en sistemas que requieren contacto delicado y adaptable con el entorno (Majidi, 2013).

Los elastómeros ofrecen una amplia gama de propiedades mecánicas que pueden ser moduladas mediante la composición química, la densidad de entrecruzamiento y la incorporación de aditivos funcionales, como nanopartículas o fibras conductoras. Esta versatilidad permite ajustar la rigidez, la capacidad de respuesta al estímulo (eléctrico, térmico o químico) y la resistencia mecánica del robot, características que son esenciales para tareas de manipulación y ensamblaje de objetos con formas o consistencias variables (Ilievski et al., 2011). Además, su capacidad de fabricación mediante moldes, impresión 3D o técnicas de colado facilita la producción de componentes complejos y personalizados a bajo costo.

### **3.1.2. Funcionamiento mediante actuadores neumáticos o hidráulicos**

El movimiento en la robótica blanda se logra principalmente mediante actuadores de tipo neumático o hidráulico, los cuales aprovechan la presión de aire o de líquidos para generar deformaciones controladas. A diferencia de los motores eléctricos convencionales, estos actuadores permiten movimientos suaves, expansivos y multidireccionales, lo que se traduce en una mejor adaptabilidad a distintas tareas y entornos (Polygerinos et al., 2017).

Un ejemplo ampliamente documentado son los actuadores neumáticos de cámara constante (PneuNets), que consisten en cavidades internas dispuestas en estructuras flexibles que, al inflarse, provocan curvaturas predefinidas. Este tipo de diseño ha demostrado una eficacia significativa en manipuladores blandos utilizados en líneas de ensamblaje, particularmente en sectores como la electrónica, la alimentación y el ensamblaje de componentes delicados (Shepherd et al., 2011).

Asimismo, los actuadores hidráulicos blandos presentan ventajas como mayor fuerza de salida y control más preciso del desplazamiento, aunque implican desafíos técnicos relacionados con la estanqueidad y la viscosidad del fluido. La combinación de estos sistemas con sensores embebidos en los materiales ha permitido avances en el control retroalimentado de los movimientos, posibilitando su aplicación en tareas automatizadas de alta sensibilidad.

### **3.1.3. Adaptación a entornos no estructurados**

Una de las ventajas más destacadas de la robótica blanda es su capacidad intrínseca para operar en entornos no estructurados, es decir, aquellos caracterizados por la incertidumbre, la variabilidad geométrica o la presencia de obstáculos dinámicos. Esta capacidad deriva tanto de su flexibilidad morfológica como de su capacidad de deformación controlada, que permite al robot adaptarse a irregularidades sin necesidad de complejos esquemas de detección o reprogramación.

El diseño continuo y sin elementos rígidos permite que los robots blandos se amolden a formas irregulares, manipulen objetos de diversas texturas y operen en espacios reducidos o de difícil acceso, lo cual los convierte en candidatos ideales para tareas de ensamblaje que implican componentes de formas variables o ensamblajes secuenciales no uniformes (Kim et al., 2013). Por ejemplo, en aplicaciones industriales donde los objetos a ensamblar presentan tolerancias de fabricación mínimas o deformaciones por temperatura, los robots blandos pueden compensar esas variaciones de forma pasiva, manteniendo la calidad del ensamblaje sin necesidad de reajustes mecánicos.

Asimismo, su capacidad de operar de forma segura en interacción con humanos sin representar un riesgo físico ha permitido su integración en entornos colaborativos, característica fundamental dentro del paradigma de la Industria 5.0 y la robótica asistencial.

#### **3.1.4. Requiere control dinámico no lineal**

El comportamiento mecánico de los robots blandos se rige por leyes físicas no lineales, lo cual representa un reto sustancial en el diseño de sistemas de control. A diferencia de los robots rígidos, cuyos movimientos se modelan mediante sistemas de ecuaciones diferenciales lineales, los robots blandos exigen una aproximación mucho más compleja debido a las múltiples variables interdependientes, como la presión interna, la elasticidad del material, la fricción interna y la interacción con el entorno (Trivedi et al., 2008).

El modelado preciso del comportamiento de estos robots ha motivado el desarrollo de técnicas como los métodos de elementos finitos, modelos basados en redes neuronales, y enfoques híbridos que combinan aprendizaje automático con control clásico. Estas estrategias permiten anticipar y ajustar en tiempo real los movimientos del robot, asegurando una operación eficaz y segura durante tareas de ensamblaje, incluso ante perturbaciones externas o errores de posicionamiento (Bolaños Linares, 2019).

Además, se han desarrollado arquitecturas de control predictivo no lineal y control adaptativo que permiten la coordinación de múltiples actuadores blandos de forma simultánea, garantizando una trayectoria deseada y una fuerza de contacto adecuada. La integración de sensores blandos, capaces de medir deformaciones, presiones y temperaturas, ha sido clave en la retroalimentación para optimizar el control, aunque su implementación aún enfrenta desafíos de fiabilidad y resolución espacial.

### **3.2. Aplicaciones en ensamblaje automatizado**

La robótica blanda ha adquirido una creciente relevancia en el contexto de la automatización industrial, especialmente en tareas de ensamblaje que requieren precisión, delicadeza y adaptabilidad a objetos de geometría variable o materiales frágiles. Frente a las limitaciones que presentan los manipuladores rígidos en escenarios de alta complejidad física o ergonómica, los robots blandos aportan

soluciones novedosas que combinan flexibilidad estructural, capacidad de deformación controlada y seguridad en la interacción humano-máquina. Su incorporación en sectores como la electrónica, la alimentación, la robótica colaborativa y el ensamblaje de dispositivos médicos ha sido documentada con resultados significativos, tanto en eficiencia operativa como en reducción de fallas por manipulación. En este sentido, se describen a continuación las principales aplicaciones industriales en procesos de ensamblaje automatizado.

### 3.2.1. Ensamblaje de componentes electrónicos

El ensamblaje automatizado de componentes electrónicos representa uno de los desafíos más exigentes en manufactura avanzada, debido al tamaño microscópico, fragilidad y susceptibilidad a daños térmicos o electrostáticos de sus elementos. Las pinzas robóticas tradicionales, basadas en estructuras rígidas, han demostrado limitaciones importantes en tareas como la colocación de microchips, la inserción de conectores o el ajuste de sensores en placas de circuito impreso (PCBs). En contraste, los manipuladores blandos han demostrado una notable capacidad para adaptarse a la manipulación segura de estos elementos, gracias a su estructura flexible y a su capacidad de distribuir uniformemente la presión sobre la superficie de contacto (Bolaños Linares, 2019).

Un estudio realizado por Shintake et al. (2018) propuso un sistema de pinzas blandas de accionamiento neumático, recubiertas por polímeros dieléctricos, que permiten sujetar componentes electrónicos sin generar tensiones localizadas. Estas pinzas demostraron ser capaces de operar con precisión en entornos de microensamblaje, reduciendo significativamente las tasas de fallo por daño físico o electrostático. Asimismo, su integración con sensores capacitivos flexibles permitió la detección en tiempo real del contacto y la fuerza aplicada, optimizando el proceso de manipulación.

Además, en procesos de ensamblaje en condiciones de sala blanca, como en la industria de semiconductores, el uso de materiales blandos libres de partículas y compatibles con atmósferas controladas ha permitido la implementación segura de robots blandos en cadenas de producción que requieren altos estándares de limpieza y control ambiental (Kim et al., 2013).

### 3.2.2. Robots colaborativos en líneas mixtas

La robótica colaborativa, o cobótica, es un paradigma en expansión dentro de las líneas de producción modernas, especialmente en entornos industriales donde humanos y robots comparten tareas de ensamblaje. Este tipo de colaboración requiere que los sistemas robóticos cumplan con criterios estrictos de seguridad, adaptabilidad y ergonomía. La robótica blanda responde de manera eficaz a estos requerimientos gracias a sus propiedades intrínsecas: estructuras sin bordes cortantes, bajo peso, materiales con propiedades amortiguadoras y capacidad de deformación ante impactos, lo que disminuye el riesgo de lesiones.

Katzschmann, DelPreto, MacCurdy y Rus (2018) demostraron el uso de brazos robóticos blandos en entornos colaborativos, destacando su capacidad de adaptarse dinámicamente al espacio de trabajo y cooperar con operarios humanos en tareas de sujeción, ensamblaje o ajuste de piezas. Estos robots pueden operar sin necesidad de barreras físicas de seguridad, lo cual aumenta la eficiencia en el uso del espacio y permite una mayor fluidez en los procesos productivos.

Además, la implementación de algoritmos de control por aprendizaje automático, combinados con sensores blandos incrustados en los actuadores, ha permitido a estos sistemas ajustar su comportamiento en función del contexto. Esto se traduce en una mayor adaptabilidad a situaciones no programadas, como variaciones en la posición de las piezas o cambios en la secuencia de montaje, lo cual es particularmente útil en entornos de manufactura personalizada o de producción en lotes pequeños.

### **3.2.3. Manipulación de alimentos sensibles**

El ensamblaje y manipulación de productos alimentarios representa una de las áreas más complejas para la automatización, dado que implica trabajar con objetos de geometría irregular, consistencia variable y elevada fragilidad. Los sistemas convencionales pueden provocar deformaciones, rupturas o contaminación del producto si no están adecuadamente calibrados o diseñados. En este ámbito, la robótica blanda ha demostrado ventajas sustanciales gracias a su capacidad para aplicar fuerzas controladas, adaptarse a la morfología del objeto y operar con materiales seguros para el contacto alimentario.

Calisti, Giorelli, Levy y Laschi (2017) analizaron aplicaciones exitosas de manipuladores blandos en la industria alimentaria, entre ellas la recolección y ensamblaje de frutas, panificados y productos de repostería. Gracias a la elasticidad de los materiales, estos manipuladores pueden envolverse alrededor de los alimentos, distribuyendo la presión de forma uniforme y evitando puntos de estrés que puedan dañar la estructura del producto. Este tipo de manipulación resulta especialmente útil en líneas de producción de ensamblajes como bandejas combinadas, emparedados automatizados o platos preparados.

Además, se ha investigado la integración de recubrimientos antimicrobianos y tecnologías de autolimpieza en las superficies blandas, a fin de cumplir con las normativas de inocuidad alimentaria. Asimismo, la posibilidad de fabricar los componentes de los robots mediante impresión 3D con materiales comestibles o biodegradables amplía aún más su campo de aplicación en la industria alimentaria.

### **3.2.4. Ensamblaje de dispositivos médicos**

La industria de dispositivos médicos impone requisitos de ensamblaje extremadamente precisos, tanto por la complejidad funcional de los componentes como por las regulaciones sanitarias que rigen su fabricación. La robótica blanda ha sido incorporada en este sector para realizar tareas de ensamblaje que incluyen el manejo de catéteres, válvulas cardíacas, implantes auditivos y dispositivos portátiles,

muchos de los cuales están fabricados con materiales biocompatibles que requieren manipulación cuidadosa.

Cianchetti, Laschi, Menciassi y Dario (2018) documentaron casos de éxito en los que manipuladores blandos fueron utilizados para ensamblar partes móviles de microdispositivos médicos, cuya precisión debe estar en el rango de micras. Gracias a su estructura elástica, estos manipuladores pueden ajustar la fuerza de sujeción en función de la fragilidad del componente, evitando microfisuras, torsiones o pérdidas de funcionalidad.

Además, la flexibilidad morfológica de los robots blandos permite acceder a zonas de ensamblaje de difícil alcance, como canales internos o cavidades reducidas dentro de dispositivos de múltiples componentes. También se han desarrollado manipuladores para ensamblar dispositivos inyectables o portátiles, lo cual permite una mayor eficiencia en la producción de tecnologías médicas emergentes como wearables o sistemas de liberación controlada de fármacos.

#### 4. Discusión

La implementación de la robótica blanda en procesos de ensamblaje automatizados representa una transformación paradigmática en la ingeniería robótica, al desplazar el enfoque desde estructuras rígidas y preprogramadas hacia sistemas adaptativos, morfológicamente flexibles y capaces de interactuar de manera segura y eficiente en entornos dinámicos. A partir de los hallazgos revisados, se evidencia que los principios fundamentales de esta tecnología —el uso de materiales elásticos, la actuación mediante fluidos, la adaptabilidad a contextos no estructurados y el control dinámico no lineal— no solo ofrecen ventajas técnicas sobre los sistemas tradicionales, sino que abren nuevas posibilidades de aplicación en sectores industriales altamente especializados (Bolaños Linares, 2019).

Uno de los aspectos más significativos es la capacidad de los materiales blandos, como los elastómeros, para replicar comportamientos biomecánicos, lo cual permite una manipulación segura y precisa de objetos frágiles o sensibles. Esta propiedad ha sido particularmente útil en el ensamblaje de componentes electrónicos, donde la miniaturización de los dispositivos exige niveles de precisión y suavidad que resultan difíciles de alcanzar con manipuladores rígidos. Según Shintake et al. (2018), los actuadores blandos basados en elastómeros dieléctricos no solo permiten una sujeción más distribuida, sino que reducen significativamente la probabilidad de falla por presión excesiva o descarga electrostática, lo cual incrementa el rendimiento del proceso y disminuye el desperdicio de materiales.

Asimismo, la robótica blanda ha encontrado una aplicación creciente en contextos colaborativos dentro de líneas mixtas de ensamblaje, donde humanos y máquinas comparten el espacio de trabajo. La seguridad inherente de los robots blandos —debido a su baja inercia y capacidad de deformarse ante el contacto— los convierte

en aliados ideales en entornos que demandan una alta interacción hombre-máquina. En este sentido, el trabajo de Katzschmann et al. (2018) destaca que los robots colaborativos blandos permiten una mayor fluidez operativa y reducen la necesidad de medidas de aislamiento físico, optimizando así tanto la ergonomía como la eficiencia del proceso industrial.

En sectores como el alimentario, donde la manipulación de productos exige no solo delicadeza sino también cumplimiento de estrictas normativas sanitarias, la robótica blanda ha probado ser una solución técnicamente viable y económicamente sostenible. Manipuladores diseñados con materiales aptos para el contacto alimentario, junto con actuadores capaces de adaptarse a la morfología del producto, han permitido automatizar tareas que antes se consideraban exclusivas del trabajo manual. Calisti et al. (2017) evidencian cómo estos sistemas son capaces de ensamblar alimentos con estructuras complejas —como frutas, productos horneados o alimentos procesados— sin causar deterioro físico ni contaminación cruzada, lo cual representa un avance notable en la eficiencia higiénica de las líneas de producción.

Por otra parte, el ensamblaje de dispositivos médicos ha planteado desafíos específicos que la robótica blanda ha comenzado a abordar con éxito. La necesidad de manipular materiales biocompatibles, de baja resistencia mecánica y alto valor agregado, ha hecho que la capacidad adaptativa y la fineza en el control de fuerza de los manipuladores blandos resulten fundamentales. Cianchetti et al. (2018) sostienen que estos sistemas han permitido no solo reducir el daño en componentes sensibles, como catéteres y válvulas intracardiacas, sino también mejorar la repetibilidad y trazabilidad de los procesos de ensamblaje, elementos clave en la producción de dispositivos médicos bajo normativas estrictas (Bolaños Linares, 2019).

No obstante, a pesar de sus múltiples ventajas, la robótica blanda enfrenta aún limitaciones significativas. El modelado físico de sus estructuras implica el uso de sistemas de ecuaciones altamente no lineales, cuya resolución en tiempo real sigue siendo un reto computacional considerable. Además, la integración de sensores blandos —necesarios para una retroalimentación efectiva del sistema— aún se encuentra en una fase incipiente, tanto en términos de resolución como de durabilidad (Trivedi et al., 2008). La falta de estándares industriales para el diseño, fabricación y validación de estos robots limita su implementación a gran escala, especialmente en sectores donde la certificación y la trazabilidad de procesos son indispensables.

Pese a estos retos, las proyecciones futuras apuntan a un crecimiento sostenido en la investigación y desarrollo de la robótica blanda, especialmente con la integración de técnicas de inteligencia artificial, control adaptativo y fabricación aditiva multimaterial. La sinergia entre estos campos promete superar muchas de las limitaciones actuales, optimizando tanto la funcionalidad como la escalabilidad de los sistemas blandos. Tal como afirman Polygerinos et al. (2017), la robótica blanda no solo representa una alternativa viable, sino que redefine el concepto mismo de automatización flexible y segura en la era de la Industria 4.0.

En suma, la robótica blanda se perfila como una tecnología disruptiva, cuyas aplicaciones en procesos de ensamblaje automatizado ofrecen ventajas tangibles en términos de seguridad, eficiencia, precisión y adaptabilidad. Su implementación progresiva en sectores como la electrónica, la alimentación, la colaboración hombre-máquina y la biomedicina confirma su potencial para transformar los modelos actuales de producción, siempre que se logre avanzar en la estandarización, el modelado y el control inteligente de sus sistemas.

## 5. Conclusiones

La implementación de la robótica blanda en procesos de ensamblaje automatizados constituye una innovación tecnológica con alto potencial transformador en diversas industrias, al ofrecer soluciones concretas a limitaciones operativas de los sistemas robóticos tradicionales. Su capacidad para manipular objetos delicados, adaptarse a geometrías complejas y operar con seguridad en entornos compartidos con humanos la convierte en una herramienta estratégica dentro del paradigma de la manufactura flexible e inteligente.

Los principios fundamentales de esta tecnología, como el uso de materiales elastoméricos, la actuación mediante sistemas neumáticos o hidráulicos, y el control dinámico no lineal, han demostrado viabilidad técnica en contextos reales. Su aplicación ya es evidente en sectores clave como la electrónica, la alimentación, la robótica colaborativa y la fabricación de dispositivos médicos, donde las exigencias de precisión, seguridad e higiene son críticas.

A pesar de sus múltiples beneficios, la robótica blanda aún enfrenta desafíos importantes en términos de modelado matemático, estandarización industrial, integración sensorial y capacidad de respuesta en tiempo real. No obstante, la evolución acelerada de tecnologías complementarias como la inteligencia artificial, los sensores blandos y la fabricación aditiva permite prever una superación progresiva de estas barreras.

En conjunto, se concluye que la robótica blanda no solo complementa, sino que amplía significativamente el alcance de la automatización en tareas de ensamblaje, aportando versatilidad, eficiencia y seguridad. Su consolidación en el entorno industrial dependerá de la capacidad de integrar sus principios con los sistemas de producción existentes, así como de fomentar una investigación aplicada que priorice la validación funcional, la escalabilidad y la sostenibilidad operativa.

## CONFLICTO DE INTERESES

**“Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses”.**

## Referencias Bibliográficas

- Bolaños Linares, R. (2019). Es tiempo de robótica en la arquitectura. *Academia XXII*, 10(20), 121–151. <https://doi.org/10.22201/fa.2007252Xp.2019.20.72342>
- Calisti, M., Giorelli, M., Levy, G., & Laschi, C. (2017). Soft robotics applications to food handling. *Robotics and Autonomous Systems*, 93, 116–123.
- Celi Párraga, R. J., Boné Andrade, M. F., & Mora Olivero, A. P. (2023). *Programación Web del Frontend al Backend*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.18>
- Celi-Párraga, R. J., Boné-Andrade, M. F., Mora-Olivero, A. P., & Sarmiento-Saavedra, J. C. (2023). *Ingeniería del Software I: Requerimientos y Modelado del Software*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.21>
- Celi-Párraga, R. J., Mora-Olivero, A. P., Boné-Andrade, M. F., & Sarmiento-Saavedra, J. C. (2023). *Ingeniería del Software II: Implementación, Pruebas y Mantenimiento*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.20>
- Celi-Párraga, R. J., Mora-Olivero, A. P., Boné-Andrade, M. F., & Sarmiento-Saavedra, J. C. (2023). *Ingeniería del Software II: Implementación, Pruebas y Mantenimiento*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.23>
- Cianchetti, M., Laschi, C., Mencias, A., & Dario, P. (2018). Biomedical applications of soft robotics. *Nature Reviews Materials*, 3(6), 143–153. <https://doi.org/10.1038/s41578-018-0022-y>
- Galarza-Sánchez, P. C. (2023). Adopción de Tecnologías de la Información en las PYMEs Ecuatorianas: Factores y Desafíos. *Revista Científica Zambos*, 2(1), 21-40. <https://doi.org/10.69484/rcz/v2/n1/36>
- Galarza-Sánchez, P. C., Agualongo-Yazuma, J. C., & Jumbo-Martínez, M. N. (2022). Innovación tecnológica en la industria de restaurantes del Cantón Pedro Vicente Maldonado. *Journal of Economic and Social Science Research*, 2(1), 31–43. <https://doi.org/10.55813/gaeal/jessr/v2/n1/45>
- Ilievski, F., Mazzeo, A. D., Shepherd, R. F., Chen, X., & Whitesides, G. M. (2011). Soft robotics for chemists. *Angewandte Chemie International Edition*, 50(8), 1890–1895. <https://doi.org/10.1002/anie.201006464>
- Jaramillo-Chuqui, I. F., & Villarroel-Molina, R. (2023). *Elementos básicos de Análisis Inteligente de Datos*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.65>
- Katzschmann, R. K., DelPreto, J., MacCurdy, R., & Rus, D. (2018). Exploration of underwater life with an acoustically controlled soft robotic fish. *Science Robotics*, 3(16), eaar3449. <https://doi.org/10.1126/scirobotics.aar3449>
- Kim, S., Laschi, C., & Trimmer, B. (2013). Soft robotics: A bioinspired evolution in robotics. *Trends in Biotechnology*, 31(5), 287–294. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2013.03.002>

- Laschi, C., Mazzolai, B., & Cianchetti, M. (2016). Soft robotics: Technologies and systems pushing the boundaries of robot abilities. *Science Robotics*, 1(1), eaah3690. <https://doi.org/10.1126/scirobotics.aah3690>
- Majidi, C. (2013). Soft robotics: A perspective—current trends and prospects for the future. *Soft Robotics*, 1(1), 5–11. <https://doi.org/10.1089/soro.2013.0001>
- Marchese, A. D., Katzschmann, R. K., & Rus, D. (2015). A recipe for soft fluidic elastomer robots. *Soft Robotics*, 2(1), 7–25. <https://doi.org/10.1089/soro.2014.0022>
- Picoy-Gonzales, J. A., Huarcaya-Taype, R., Contreras-Canto, O. H., & Omonte-Vilca, A. (2023). *Fortalecimiento Metodológico de la Seguridad Informática en Posgrados: Análisis y Estrategias de Mejora*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.56>
- Picoy-Gonzales, J. A., Huarcaya-Taype, R., Contreras-Canto, O. H., Omonte-Vilca, A., Contreras-De La Cruz, C., & Gaspar-Quispe, J. C. (2023). *Sabores Conectados: Transformando la Gastronomía a través de las Tecnologías de la Información y Comunicación*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.58>
- Polygerinos, P., Correll, N., Morin, S. A., Mosadegh, B., Onal, C. D., Petersen, K., ... & Walsh, C. J. (2017). Soft robotics: Review of fluid-driven intrinsically soft devices; manufacturing, sensing, control, and applications in human–robot interaction. *Advanced Engineering Materials*, 19(12), 1700016. <https://doi.org/10.1002/adem.201700016>
- Rus, D., & Tolley, M. T. (2015). Design, fabrication and control of soft robots. *Nature*, 521(7553), 467–475. <https://doi.org/10.1038/nature14543>
- Shepherd, R. F., Ilievski, F., Choi, W., Morin, S. A., Stokes, A. A., Mazzeo, A. D., ... & Whitesides, G. M. (2011). Multigait soft robot. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(51), 20400–20403. <https://doi.org/10.1073/pnas.1116564108>
- Shintake, J., Cacucciolo, V., Floreano, D., & Shea, H. (2018). Soft robotic grippers. *Advanced Materials*, 30(29), 1707035. <https://doi.org/10.1002/adma.201707035>
- Solano-Gutiérrez, G. A., Núñez-Freire, L. A., Mendoza-Loor, J. J., Choez-Calderón, C. J., & Montaña-Cabezas, L. J. (2023). *Evolución del Computador: desde el ABC de su Arquitectura hasta la Construcción de una PC Gamer*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.24>
- Trivedi, D., Rahn, C. D., Kier, W. M., & Walker, I. D. (2008). Soft robotics: Biological inspiration, state of the art, and future research. *Applied Bionics and Biomechanics*, 5(3), 99–117. <https://doi.org/10.1080/11762320802557865>
- Zhang, Y., Ren, S., Liu, Y., Sakao, T., & Huisingh, D. (2017). A framework for big data driven product lifecycle management. *Journal of Cleaner Production*, 219, 322–330. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.172>