

La Mecatrónica en el Desarrollo de la Industria Automotriz en México



Francisco Beltrán-Carbajal

*Universidad Autónoma Metropolitana,
Unidad Azcapotzalco. Departamento de Energía*

Hugo Yañez-Badillo

*TecNM: Tecnológico de Estudios Superiores
de Tianguistenco.
Departamento de Investigación*

Daniel Galván-Pérez

Ivan de Jesús Rivas-Camero

*Universidad Politécnica de Tulancingo.
Departamento de Posgrado*

Abstract

Importance of conducting technological research in various field of study of Mechatronics to contribute significantly to the international competitiveness of Mexican automotive industry is described in this paper. It highlights how technologies based on Mechatronics can contribute to the technological, economic and social transformation of Mexico. In this sense, various novel applications are addressed, such as robotics in the automotive industry, autonomous aerial vehicles, as well as intelligent warehouses, 3D printing, exoskeletons, virtual reality and artificial vision. The relevance of training human resources with the skills and abilities in the development of this kind of mechatronic technologies is recognized. Finally, several research trends are mentioned in the fields of study of Mechatronics to move towards the design and manufacture of various types of vehicles such as electric, hybrid, autonomous and aerial, where its broad social and economic benefits for our country are highlighted.

Keyword:

Automotive industry, Mechatronics, Emerging Technologies, Development.

1. Introducción

Existen diversas definiciones sobre el concepto de Mecatrónica. Todas ellas hacen referencia, desde diversos puntos de vista acertados, a la integración sinérgica de sistemas ingenieriles de precisión (sistemas físicos, electrónicos, de control y computacionales) para el desarrollo de productos, equipos o sistemas de fabricación. En la Fig. 1 se presenta el diagrama conceptual de la Mecatrónica propuesto por el profesor Kevin Craig de la Universidad de Hofstra, Nueva York (Craig, 1996).

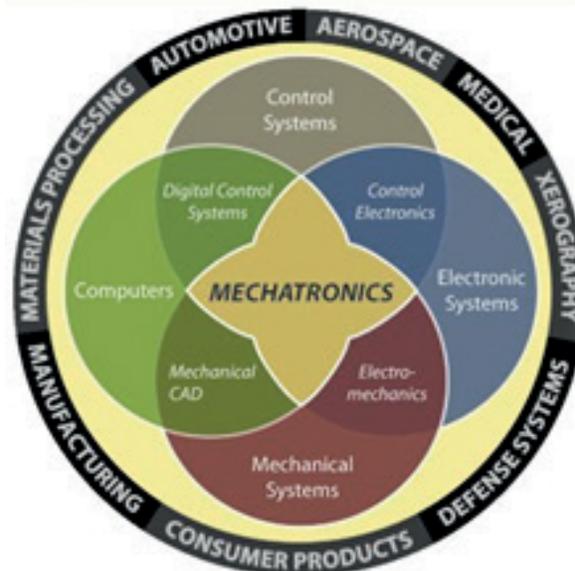


Figura 1: Conceptualización de la Mecatrónica.

Observe también de la Fig. 1 la interacción multidisciplinaria que ha permitido el desarrollo de sistemas tecnológicos avanzados, los cuales se han implementado de manera satisfactoria en beneficio de la industria automotriz a nivel global.

En el presente documento se muestra un panorama general sobre la inclusión en el proceso de manufactura de automóviles de algunas tecnologías mecatrónicas como la manufactura aditiva, la robótica móvil, la visión artificial, la realidad aumentada, los exoesqueletos, y los vehículos aéreos no tripulados. De igual manera, se mencionan algunas características generales sobre las áreas de oportunidad que pueden impulsar el desarrollo tecnológico de la industria automotriz en México, y que, a su vez, podrían mejorar las condiciones en el desarrollo económico y social de nuestro país.

2. Mecatrónica en la Ingeniería Automotriz

El automóvil es posiblemente el producto de consumo más complejo del mercado actual.

Afecta a todos los aspectos de nuestras vidas (Omar, 2011). La ingeniería automotriz es una rama de la ingeniería que se ocupa del diseño, manufactura y operación de los automóviles. Esta área de la ingeniería requiere de la integración de elementos mecánicos, eléctricos, electrónicos, de software, de control, y de seguridad para conformar sistemas confiables para los usuarios. La Mecatrónica ha contribuido de manera significativa en los avances tecnológicos involucrados en la construcción de vehículos, desde la manufactura, p. ej. manufactura de autopartes, hasta el vehículo en sí, el cual está integrado por subsistemas mecatrónicos, p. ej. sistema de frenado, suspensión inteligente, el sistema de inyección, diversos sistemas de monitoreo, navegación autónoma, entre otros.

2.1. Robótica

Los robots tienen un impacto considerable en muchos aspectos de la vida moderna, desde la fabricación industrial hasta la atención médica, el transporte y la exploración del espacio profundo y el mar (Siciliano, 2016). Un robot incluye un sistema de control y su interfaz del sistema de control. Acorde con la norma internacional ISO/TC 299 la robótica es la ciencia y tecnología de los robots, que se encarga del diseño, manufactura y aplicación (About ISO/TC 299 Robotics, 2023).

Robots manipuladores

Durante la llamada tercera revolución industrial (en el auge del desarrollo e integración de los sistemas automatizados y de las tecnologías de información y comunicaciones TICs, y como resultado de la consolidación en el uso de los dispositivos electrónicos con propósitos industriales en la década de los 70's) surgió el concepto de robots manipuladores, como los que se observan en la Fig. 2. Según la norma ISO/TC 299 un robot industrial es un ma-

nipulador multipropósito reprogramable y controlado automáticamente, programable en tres o más ejes, que puede ser fijo o móvil para su uso en aplicaciones de automatización industrial (About ISO/TC 299 Robotics, 2023).

Estos dispositivos realizaban tareas repetitivas, en algunos casos peligrosas, con una precisión y velocidad superior a la que un operario humano podía lograr. A través de los años, estos sistemas mecatrónicos han impulsado de manera significativa el desarrollo de la industria automotriz en todo el mundo, partiendo de la manufactura de los diversos componentes que integran a un automóvil, hasta las plantas de ensamble donde las operaciones deben realizarse sin error alguno.



Figura 2: Manipuladores ABB durante el proceso de pintura interior en una carrocería de automóvil (Automotive Industry, 2023).

La integración en las líneas de producción de los robots manipuladores también conocidos como brazos robóticos (debido a la inspiración en el brazo humano para su construcción) permite reducir el margen de variabilidad de producción de las piezas y se incrementa la calidad en el manejo de las piezas, lo cual se ve reflejado en la disminución de residuos causado anteriormente

por errores humanos. Además, permiten la reducción de tiempos de producción y la disminución de lesiones en el área de trabajo.

Robots móviles

Por otro lado, existen algunos otros sistemas robóticos que se han empleado de manera satisfactoria en la producción de automóviles. Los robots móviles son una clase de robots que son capaces de moverse a través de su entorno (Corke, 2017). Entre estos, destacan los vehículos terrestres autónomos. La producción en una planta automotriz está automatizada con múltiples robots industriales como elemento clave, donde mantener la producción en funcionamiento, es esencial para entregar materiales en las diferentes estaciones. Algunas empresas han implementado robots móviles para transportar repuestos para equipos de producción desde el almacén hasta las líneas de producción. Estos robots deben tener la capacidad de evitar obstáculos imprevistos, capaces de modificar su ruta o detenerse cuando sea necesario y trabajar de forma segura junto a personas y otros vehículos en la planta. En la Fig. 3 se puede observar un grupo de robots móviles en la planta automotriz Ford de España.



Figura 3: Robots MiR empleados para optimizar la logística interna en FORD España. (MiR robots help FORD Spain, 2023).

2.2. Vehículos aéreos autónomos

Existen diversos nombres y acrónimos para referirse a los vehículos aéreos no tripulados (UAV, por sus siglas en inglés), más comúnmente conocidos como *drones*. Otros nombres de uso común incluyen avión no tripulado, sistema aéreo no tripulado, sistema aéreo pilotado a distancia, entre otros. La característica clave de un *dron* es que la aeronave no está tripulada, aun así, todos los *drones* son piloteados por una persona o por un algoritmo programado en una computadora (Um, 2019).

Empresas como Audi, están incursionando en nuevos y más sofisticados sistemas mecánicos para mejorar su productividad. En Neckarsulm, Alemania Audi ha empleado *drones*, como se muestra en la Fig. 4, para localizar automóviles recién manufacturados y que estén listos para ser entregados, utilizando tecnología GPS (Sistema de Posicionamiento Global) y RFID (Identificación por Radiofrecuencia) (Audi uses drones, 2020). Los *drones* sobrevuelan todos los vehículos guardando su ubicación para permitir que los empleados se preparen para el despacho de manera más eficiente. En cuanto el vehículo aterriza, los datos se transmiten automáticamente a una base de datos a través de Wi-Fi. Después del vuelo el resultado se muestra en un mapa digital para los empleados.



Figura 4: Localización de autos mediante el uso de drones (Audi uses drones, 2020).

De igual manera, existen algunas otras aplicaciones de *drones* en los procesos productivos de la industria automotriz, como la entrega de cargas ligeras dentro de la misma nave, entre las diferentes naves que conforman una planta o incluso entre plantas relativamente distantes. Por ejemplo, el fabricante de automóviles español SEAT SA ha implementado un proyecto piloto para usar drones para entregar componentes desde el centro logístico de uno de sus proveedores hasta su línea de ensamblaje, en solo 15 minutos, en la Fig. 5 se muestra la imagen de un *dron* de 8 rotores de la empresa SEAT (Sprovieri, 2021).



Figura 5: Dron de ocho rotores implementado por SEAT España para entrega de componentes entre dos plantas de producción (Sprovieri, 2021).

Por otro lado, también estos vehículos han sido implementados de manera satisfactoria para el monitoreo y la vigilancia, lo que ha permitido hacer más eficiente algunas tareas de gran importancia dentro de las fábricas, como el mantenimiento. Debido a las características de estos vehículos, su tamaño compacto, capacidad de maniobra y el aterrizaje y despegue vertical para los vehículos multirrotores, estos pueden entrar en determinados lugares que pueden ser complicados para el acce-

so humano y una vez en el espacio, pueden comenzar a inspeccionar. Los drones también pueden monitorear las temperaturas de las máquinas y los cables de alimentación, así como también pueden inspeccionar robots, cintas transportadoras aéreas, grúas, montacargas y techos en busca de fallas (Ferris, 2018).

2.3. Manufactura aditiva

La fabricación aditiva, también conocida como impresión 3D, es un proceso de construcción capa por capa depositando un material para hacer un componente utilizando los datos de un modelo 3D digital (Balasubramanian, 2020). Dentro de las principales ventajas de la manufactura aditiva destacan la personalización masiva, la minimización de desechos, el diseño de estructuras complejas y la capacidad de imprimir estructuras grandes utilizando diversas clases de materiales incluyendo metales, cerámicas, polímeros, compuestos y sistemas biológicos.

Durante el proceso de manufactura automotriz se utiliza la manufactura aditiva para la fabricación de diversos elementos, como son: las tomas de aire, partes del escape, conductos, entre otros, y herramienta utilizado en tareas de administración del mantenimiento, en este sentido, en la Fig. 6 se muestran conectores de agua empleados en motores de Audi W12, elaborados con manufactura adictiva. La mayoría de los fabricantes de automóviles de gran volumen utilizan la fabricación justo a tiempo, en la que grandes cantidades de piezas llegan a la línea de producción inmediatamente antes del montaje para reducir la necesidad de un espacio de almacenamiento costoso (Spiegler, 2020).



Figura 6: Conectores de agua fabricados mediante manufactura aditiva para el motor Audi W12. (Volkswagen identifies key areas, 2018)

La fabricación de piezas de repuesto mediante fabricación aditiva es una de las tendencias más prometedoras en el campo de la ingeniería automotriz. Con las impresoras 3D disponibles en campo, las instalaciones de mantenimiento y reparación podrían crear prácticamente cualquier pieza de repuesto sin necesidad de tenerla en el área de almacén o pedirla para completar un trabajo. Esta tecnología podría cambiar la cara de las reparaciones automotrices, aumentando la velocidad y reduciendo los costos tanto para el cliente como para el proveedor del servicio (Volkswagen identifies key areas, 2018).

2.4. Exoesqueletos

Uno de los principales objetivos de los sistemas biomecátrónicos es aumentar o mejorar las capacidades físicas del cuerpo humano. El objetivo puede ser para recuperar alguna función disminuida por trastornos motores o amplificar la función humana para personas en entornos exigentes. Los exoesqueletos, también conocidos como órtesis, se pueden usar como dispositivos estacionarios o portátiles. Los dispositivos estacionarios se centran en la rehabilitación (Johnson, 2019).

Por otro lado, los exoesqueletos portátiles se utilizan para una gran variedad de aplicaciones que van desde asistencia para personas con trastornos motores hasta apoyo para militares que viajan largas distancias con cargas pesadas. Estos dispositivos mecatrónicos también se emplean de manera eficiente durante el proceso de manufactura automotriz, permitiendo a los trabajadores humanos llevar cargas más pesadas de lo que harían de otra manera, o trabajar en posiciones incómodas, como con sus manos por encima de la cabeza, por períodos más largos antes de sentir tensión y fatiga. Los exoesqueletos de alta tecnología están siendo explorados por fabricantes de automóviles como Hyundai Motor Company, Ford Motor Company y General Motors, un ejemplo se puede apreciar en la Fig 7.



Figura 7: Trabajador utilizando un exoesqueleto para fortalecer los brazos durante el proceso de manufactura automotriz (Crane, 2018).

2.5. Visión artificial

De los cinco sentidos humanos (vista, oído, olfato, gusto y tacto), la vista es, sin duda, de la cual el hombre ha llegado a depender por encima de todos los demás ya que le proporciona la mayor parte de la información que recibe de su entorno (Davies, 2018). Uno de los mayores retos científicos y tecnológicos

para el hombre en las últimas décadas ha sido entender e imitar el comportamiento de este sentido, al capturar, almacenar y procesar una gran cantidad de información mediante algunas herramientas como la teoría computacional, representaciones y algoritmos, y sobre todo la implementación en hardware (Szeliski, 2022), lo que ha permitido el nacimiento y consolidación de la teoría de la visión artificial, también conocida como visión por computadora.

Los sistemas de visión artificial son métodos automatizados e inteligentes que permiten, de forma precisa y detallada, procesar y analizar las imágenes de los productos en las líneas de ensamble. En la industria automotriz funciona como una tecnología clave porque se puede utilizar para optimizar una variedad de procesos como la producción, el control de calidad y la logística (Lückenhau, 2016). Además, con el surgimiento de la Industria 4.0, el concepto de fábrica inteligente y la necesidad de implementar sistemas de robots colaborativos o *cobots*, requiere de sistemas eficientes de visión artificial para determinar de forma fiable las características del movimiento humano y de los robots. En la Fig. 8 se muestra un sistema de inspección de calidad en la fabricación de autopartes, usando como herramienta principal la inteligencia artificial.

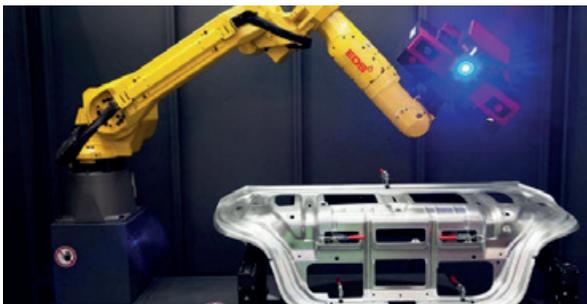


Figura 8: Brazo manipulador realizando inspección de una autoparte (Sistemas de Visión Artificial, 2020).

2.6. Estacionamiento automatizado

Un sistema de estacionamiento automatizado para automóviles es un sistema mecánico diseñado para minimizar el área o el volumen requerido para estacionar automóviles. Estos sistemas mecatrónicos deben de resguardar la integridad física de los autos mientras se optimiza su logística.

La Volkswagen Delivery Tower es una enorme estructura con capacidad para acomodar 20 niveles en un espacio limitado alineado verticalmente. Este sistema automatizado brinda la oportunidad a los clientes de ver a los automóviles en la etapa final del proceso de manufactura inmediatamente después de ser transferidos desde la planta cercana a través de una cinta transportadora (Agarwal, 2015). En la imagen de la Fig. 9 se muestra la Volkswagen Delivery Tower, donde hay 400 vehículos estacionados en cada sección de la torre con una entrega promedio de más de 600 autos por día.



Figura 9: Torre de aparcamiento automatizado de Volkswagen (Agarwal, 2015).

2.7. Realidad aumentada

La realidad aumentada (AR, por sus siglas en inglés) está pensada como un sistema visual, aumenta lo que vemos con información y gráficos. La realidad aumentada

no es una cosa, es un concepto, que puede ser utilizado por muchos procesos y será una parte omnipresente de nuestras vidas al igual que la electricidad (Peddie, 2017).



Figura 10: Asistencia mediante realidad aumentada en el ensamble de autopartes (McKenzie, 2021).

La realidad aumentada en la fase de ingeniería es útil tanto en las etapas de diseño como de fabricación. Primero, al diseñar el automóvil, segundo, al explorar ideas sobre cómo crear los componentes de la máquina. Durante la fabricación, provee a los ensambladores en línea y a los artesanos información crucial a través de cámaras en sus máquinas que muestran la precisión del contacto con las piezas a medida que se instalan. El ensamblaje en el que están trabajando se puede verificar con información en la pantalla, que muestra qué opciones se aplican a esa estación, mejorando simultáneamente la velocidad y la calidad del ensamblaje. Por ejemplo, Tesla ha desarrollado un programa AR que automatiza la calibración y configuración de los automóviles que salen de la línea de montaje.

3. Integración de los vehículos aéreos autónomos en la industria automotriz

Una de las principales características que ha motivado el uso de *drones* en la industria es que estos vehículos pueden recargar

sus baterías mediante el uso de energías renovables, lo cual tiene un impacto significativo en el medio ambiente. Asimismo, es importante mencionar que la relación *dron-automóvil*, no termina dentro de las fábricas; se han desarrollado algunas aplicaciones como asistentes en averías y accidentes de autos, y de automóviles autónomos, así como en el trazado de rutas y guía para los vehículos autónomos.

Una aplicación que está tomando fuerza en el uso de los drones en la industria es para el tema de seguridad, en “*Ford Dagenham Engine Plant*” están usando drones con cámaras para inspeccionar pórticos, las tuberías, maquinaria y para detección de fugas de aire, como se observa en la Fig. 11. Los drones finalmente ayudan a cumplir con las normas de seguridad de la planta con inspecciones frecuentes sin interrumpir la producción y sobre todo sin los riesgos que normalmente implican estas actividades (Anthony, 2018).

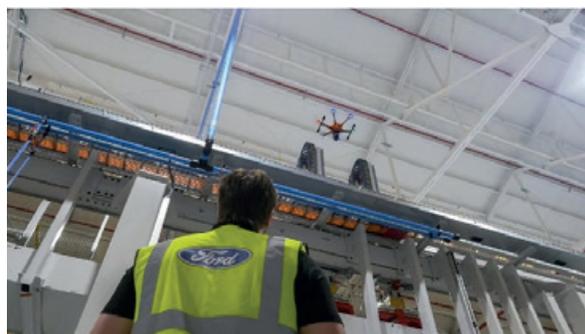


Figura 11: Dron haciendo actividades de inspección en la Ford Dagenham Engine Plant, (Anthony, 2018)

En (Rejeb, 2021) reportan las fortalezas potencialmente identificadas al aplicar *drones* en logística y la gestión de la cadena de suministro, (SCM, por sus siglas en inglés), las cuales son: soporte de logística humanitaria, reducción de tiempos de

entrega, reducción de costos, flexibilidad y mayor sustentabilidad.

4. La industria automotriz de México

La industria automotriz en México representa el 3.5 % del Producto Interno Bruto en México, en el año 2021 se produjeron poco más de 3 millones de vehículos, lo que llevó a México a ocupar el 7° lugar mundial (México en la Producción Mundial de Vehículos, 2023). Hacia el año 2022, se esperaba que México tuviera un crecimiento del 21% en la producción de automóviles, respecto a la del año 2017. No obstante, la presencia de China y otros países emergentes hacen necesario incrementar la competitividad a través de tecnología que permita generar vehículos de mejor calidad con mayor innovación y valor agregado (Espinosa-Vincens, 2017).

El sector automotriz en México siempre ha sido una piedra angular del desarrollo industrial del país por décadas, las plantas de manufactura instaladas en territorio nacional han probado el uso eficiente de las tecnologías utilizadas alrededor de las operaciones, donde se mantiene un adecuado balance entre tecnología de punta y sistemas tradicionales de producción adaptados (Vicencio-Miranda, 2007).

Como parte del desarrollo de la industria automotriz, la industria terminal y la de autopartes han establecido centros de ingeniería y diseño, con lo cual se ha consolidado un núcleo productivo más integrado y ha dado pauta a actualizaciones de la ingeniería desarrollada inicialmente en los países de origen. Entre las principales actividades se encuentran diseñar y desarrollar nuevos productos o componentes con nuevas tecnologías, desarrollos para la producción, ingeniería avanzada, diseño y

desarrollo de procesos y de celdas de manufactura a nivel mundial. Estos centros se encuentran dispersos en el país y han incrementado la demanda de ingenieros especializados, lo que en algunos casos ha permitido la creación de nuevas carreras en algunas universidades.

A pesar de este esfuerzo, la tecnología desarrollada no ha logrado actualizar la producción de automóviles hacia la nueva generación de automóviles, donde destacan los híbridos y los eléctricos; ningún vehículo de este tipo es ensamblado en el país y, en el corto plazo, no se planea la producción de ninguno de ellos (Ruiz-Duran, 2016).

Es importante recalcar la importancia del desarrollo de nuevas tecnologías para el mejoramiento de la manufactura automotriz, sobre todo las involucradas con el concepto de la industria 4.0, donde la mecatrónica tiene una presencia importante como ente multidisciplinario para la creación de sistemas avanzados utilizados en la mejora de la manufactura automotriz, como son los sistemas ciber físicos, los robots de colaborativos, el internet de las cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA), entre otras.

Las nuevas tecnologías de automatización en la industria automotriz, con el enfoque introducido por la industria 4.0, combinan a la robótica avanzada con las tecnologías de automatización y los módulos de aprendizaje, realizando trabajos con alta precisión y aumentando la productividad industrial. En resumen, actualmente son cuatro las tecnologías de automatización en la industria automotriz que son más utilizadas y con las cuales, las empresas de este sector están digitalizando sus procesos productivos: visión artificial, robots colaborativos, inteligencia artificial y computación cogni-

tiva en autos conectados a la IoT (4 tecnologías de automatización, 2019).

Es evidente que, para la aplicación de todas las tecnologías antes mencionadas, tanto en la fabricación automotriz como en la operación o conducción propia de los vehículos, es indispensable la creación de novedosos y más eficientes sistemas mecatrónicos, especialmente en los procesos de fabricación donde se requiere de un contante desarrollo tecnológico-científico en beneficio de nuestro país. Los sistemas mecatrónicos, desde las diferentes áreas tecnológicas, tienen mucho que aportar para mejorar los procesos de producción, haciéndolos más rentables y con productos de mayor calidad, de forma que esta industria siga creciendo y se vuelva cada vez más competitiva a nivel mundial.

5. Conclusiones

En este documento se presenta una reseña de las diferentes áreas tecnológicas basadas en la mecatrónica que han permitido el desarrollo de la industria automotriz a nivel mundial. Cada año la industria automotriz concentra sus esfuerzos para desarrollar mejores tecnologías, con el propósito de mejorar la calidad de los vehículos fabricados a más bajo costo. Para ello, los sistemas mecatrónicos juegan un papel importante, ya que permiten eficientizar los procesos mientras que se prioriza la mejora continua, resultando indispensable el desarrollo tecnológico-científico continuo para promover el desarrollo de nuestro país. Finalmente, se identificaron las principales áreas de oportunidad que pueden impulsar el desarrollo tecnológico de la industria automotriz en México, y que, a su vez, podrían mejorar las condiciones en el desarrollo económico y social de nuestro país.

Referencias

About ISO/TC 299 Robotics. Consultada en mayo 10, 2023, en la URL <https://committee.iso.org/home/tc299>

Agarwal, P., Volkswagen: Iconic & world's biggest car delivery center, 2015. Consultada en mayo 10, 2023, en la URL <https://www.zigwheels.my/car-feature-stories/volkswagen-iconic-worlds-biggest-car-delivery-center>

Anthony, C., Small Drones Keep Large Auto Manufacturing Plant Safe, 2018. Consultada en mayo 10, 2023, en la URL <https://www.automoblog.net/drones-auto-manufacturing/>

Audi uses drones to locate vehicles at Neckarsulm site, 2020. Consultada en mayo 10, 2023, en la URL <https://web.archive.org/web/20210614214050/https://www.audi-mediacycenter.com/en/press-releases/audi-uses-drones-to-locate-vehicles-at-neckarsulm-site-12999>

Automotive Industry: Interior Painting. Consultada en mayo 10, 2023, en la URL <https://new.abb.com/products/robotics/industries/automotive/paint/applications-and-processes-expertise>

Balasubramanian, K. R., Senthilkumar, V. y Senthilvel, D., Introduction to Additive Manufacturing. En Balasubramanian, K. R. y Senthilkumar, V. (eds.), *Additive Manufacturing Applications for Metals and Composites*, (pp. 1–24). IGI Global, Hershey, Estados Unidos de America, 2020.

Corke, P., *Robotics, Vision and Control: Fundamental Algorithms In MATLAB*. Springer International Publishing, Cham, Suiza, 2017.

- Craig, K. C. y de Marchi, J. A., Mechatronic system design at Rensselaer, *Comput. Appl. Eng. Educ.*, 4 [1], pp. 67-78, 1996.
- Crane, L., Car assembly is heavy work – this exoskeleton can boost your strength, 2018. Consultada en mayo 10, 2023, en la URL <https://www.newscientist.com/article/2186058-car-assembly-is-heavy-work-this-exoskeleton-can-boost-your-strength/>
- Davies, E. R., *Computer Vision: Principles, Algorithms, Applications, Learning*. Academic Press, Londres, Reino Unido, 2018.
- Espinosa-Vincens, M. E., Esteves-Cano C. y Moreno-Blat J. M., *Capacidades de los servicios de I+D+i en la industria automotriz mexicana*, Unidad de Inteligencia de Negocios, ProMéxico, México, 2017.
- Ferris, R., Ford is using drones to keep an eye on its uk factories — and save money, 2018. Consultada en mayo 10, 2023, en la URL <https://www.cnbc.com/2018/08/31/ford-is-using-drones-to-keep-an-eye-on-its-factories.html>
- Johnson, R. E. y Sensinger, J. W., Actuator Technologies. En: Segil, J. (ed.), *Handbook of Biomechatronics*, (pp. 31–59). Academic Press, Londres, Reino Unido, 2019.
- Lückenhaus, M., The role of machine vision in the automotive industry, 2016. Consultada en mayo 10, 2023, en la URL https://www.photonics.com/Articles/The_Role_of_Machine_Vision_in_the_Automotive/a58196#:~:text=In%20that%20sense%2C%20industrial%20image,production%2C%20quality%20assurance%20and%20logistics
- McKenzie, J., 6 AR applications in the car industry, 2021. Consultada en mayo 10, 2023, en la URL <https://nextreality.com/2019/08/13/augmented-reality-automobile/>
- México en la Producción Mundial de Vehículos. Consultada en mayo 10, 2023, en la URL <https://www.amia.com.mx/>
- MiR robots help FORD Spain optimize intra-logistics in its Car Body & Stamping plant. Consultada en mayo 10, 2023, en la URL <https://www.mobile-industrial-robots.com/es/case-studies/mir100-ford-spain/>
- Omar, M. A., *The Automotive Body Manufacturing Systems and Processes*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, Reino Unido, 2011.
- Peddie, J., *Augmented Reality: Where We Will All Live*. Springer International Publishing, Cham, Suiza, 2017.
- Rejeb, A., Rejeb K., Simske, S. J. y Treiblmaier, H., Drones for supply chain management and logistics: a review and research agenda, *International Journal of Logistics Research and Applications*, pp. 1-24, 2021.
- Ruiz-Duran, C., Desarrollo y estructura de la industria automotriz en México, *Fundación Friedrich Ebert, México*, 2016. Consultada en mayo 10, 2023, en la URL: <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/mexiko/13016.pdf>
- Siciliano, B. y Khatib, O., *Springer Handbook of Robotics*, Springer International Publishing, Cham, Suiza, 2016.
- Sistemas de Visión Artificial: tipos y aplicaciones, 2020. Consultada en mayo 10, 2023, en la URL <https://www.edsrobotics.com/blog/sistemas-de-vision-artificial-tipos-aplicaciones/>

Spiegler, M., What are the benefits of 3D printing in automotive design?, 2020. Consultada en mayo 10, 2023, en la URL <https://manufacturingdigital.com/smart-manufacturing/what-are-benefits-3d-printing-automotive-design>

Sprovieri, J., Industry 4.0 and the automotive industry, 2021. Consultada en mayo 10, 2023, en la URL <https://www.assemblymag.com/articles/96568-industry-40-and-the-automotive-industry>

Szeliski, R., *Computer Vision: Algorithms and Applications*, Springer International Publishing, Cham, Suiza, 2022.

Um, J. J., *Drones as Cyber-Physical Systems: Concepts and Applications for the Fourth Industrial Revolution*. Springer Nature Singapore, Singapore, 2019.

Vicencio-Miranda, A., La industria automotriz en México: Antecedentes, situación actual y perspectivas, *Contaduría y administración*, 221, pp. 209-246, 2007.

Volkswagen identifies key areas for metal Additive Manufacturing in automotive applications, 2018. Consultada en mayo 10, 2023, en la URL <https://www.metal-am.com/volkswagen-identifies-key-areas-metal-additive-manufacturing-automotive-applications/>

4 tecnologías de automatización en la industria automotriz más utilizadas, 2019. Consultada en mayo 10, 2023, en la URL <https://tecnologiaparalaindustria.com/4-tecnologias-de-automatizacion-en-la-industria-automotriz-mas-utilizadas/>