

RED DE EXPERTOS EN ROBÓTICA Y MECATRÓNICA

TENDENCIAS EN SISTEMAS ROBÓTICOS Y MECATRÓNICOS

ESTADO ACTUAL A NIVEL GLOBAL

Desde la introducción de las computadoras y las tecnología de información en el ambiente industrial (década de 1970), paralelo al espectacular desarrollo en la automatización de los procesos productivos administrativos y científicos, un sin número de otras innovaciones y cambios tecnológicos se han dado en todo el espectro industrial, situación que ha forzado a la industria a introducir productos más complejos y sofisticados, exigiendo por consiguiente, un cambio radical en sus procesos de diseño y de fabricación, lo que ha contribuido a mejorar en los nuevos prototipos la calidad, la precisión, la velocidad, la durabilidad, la miniaturización, la flexibilidad, la seguridad, la inteligencia, a disminuir el consumo de potencia, a optimizar los recursos energéticos y a minimizar el costo de producción. Como consecuencia, se ha requerido un cambio profundo en la concepción de la ingeniería ya que, para resolver los nuevos problemas tecnológicos se requiere un conocimiento multi e interdisciplinario en las áreas de mecánica, eléctrica, electrónica, informática, computación, materiales, control y otro gran número de disciplinas. Como resultado de este enfoque integrado, trabajando al mismo tiempo a través de varias disciplinas, nace la Mecatrónica, disciplina que permite encontrar soluciones a los problemas con perspectivas más amplias y más eficientes, logrando un mejor entendimiento y conexión entre ellas. Este enfoque ha generado nuevos sistemas y productos, y ha proporcionado diversas metodologías y procesos para mejorar la eficiencia de los ya existentes, llegando a convertirse en una necesidad de la industria moderna.

El término Mecatrónica fue creado hace cerca de 50 años por el japonés Ko Kikuchi, de la compañía Yaskawa Electric Company en Chiyoda, en referencia a la aplicación de control electrónico a los motores que fabricaba la compañía. Permanece popular en Japón, donde generalmente se refiere a la fusión de partes mecánicas y una electrónica diversa (que incluye elementos de control de tecnología a semiconductores, sensores y optoelectrónica, entre otras).

El término mecatrónica acuñado desde finales de la década de los 60's, ha venido difundándose paulatinamente en el resto del mundo con gran interés por parte de los países altamente industrializados, y ha sido adoptado como parte fundamental en el diseño y manufactura de productos en Asia y la mayor parte de Europa. Un consenso común describe a la mecatrónica como una disciplina integradora de las áreas de mecánica, electrónica e informática cuyo objetivo es proporcionar mejores productos, procesos y sistemas.

La mecatrónica permaneció durante diez años como una tecnología confinada al nivel de programas de investigación y desarrollo de la industria aeroespacial y de defensa. A partir de ahí, se establece de manera paralela en los departamentos de ingeniería y laboratorios de investigación industrial, pero permanece restringida a un núcleo de especialistas.¹

Japón ha jugado un papel importante en el establecimiento y desarrollo del campo de la Mecatrónica, es el mayor productor y usuario de robots industriales y el término Mecatrónica se ha identificado allí con una habilidad necesaria requerida en la construcción de mejores robots. Japón también es un fabricante y usuario de muchos sistemas mecatrónicos avanzados para aplicaciones

¹ Fernand Peilloud; The Stakes of the Mechatronics in Research, Training and Industry. IEEE International Conference, June 2004.

de producción industrial, que incluyen, entre otros motores de alto rendimiento y sensores inteligentes, micro y nano mecánica, sistemas embebidos y sistemas de comunicación. También se puede considerar que es uno de los mayores innovadores, diseñadores y productores de microcontroladores y procesadores de señales para estas aplicaciones.

Durante la última década la mecatrónica ha hecho su entrada real en la industria y los servicios, con aplicaciones como: rodamientos instrumentados que permitieron el desarrollo de los frenos ABS en los vehículos, sistemas de detección de fallas en líneas de producción e inclusión de los sistemas inteligentes, una de las tecnologías clave en el horizonte de acuerdo a informes de la Federación de Industrias de Ingeniería Mecánica.²

Realizando una retrospectiva se encuentra que en los 70's la mecatrónica estaba relacionada principalmente con la servo tecnología usada en productos como puertas automáticas, máquinas despachadoras y cámaras con auto enfoque. En los 80's fueron introducidas las tecnologías de información, se inició la introducción de micro procesadores en los sistemas mecánicos para mejorar su desempeño. Las máquinas de control numérico y los robots comenzaron a ser más compactos. Para los 90's, la tecnología de comunicaciones fue incorporada a los sistemas, lo que permitió que los productos resultantes pudieran ser conectados en grandes redes. Estos desarrollos permitieron funciones como la operación remota de brazos de robots. Al mismo tiempo, fueron incorporados nuevos sensores más pequeños – incluso a micro y nano escala - que diversificaron el uso de sistemas mecatrónicos.²

El gran avance científico y tecnológico del presente siglo ha llevado a un cambio radical en los procesos y en la utilización de nuevas herramientas para el diseño, planeación y fabricación de los nuevos productos. El diseño asistido por computadora (CAD), la manufactura asistida por computadora (CAM), la manufactura aditiva y la Realidad Virtual son otros de los campos en los cuales la Ingeniería Mecatrónica ha intervenido mejorando sustancialmente los procesos industriales y de producción.

Los sistemas mecatrónicos tienen aplicaciones importantes en las ramas industriales más representativas como son: Biotecnología, Medicina, Ingeniería de Rehabilitación, Ingeniería de Materiales, Ingeniería de Tejidos, Electrónica, Telecomunicaciones y Servicios de Información, Distribución, Transportación y Logística, Construcción, Energía, Minería, Extracción y procesamiento del Petróleo, Maquinaria Industrial, Agricultura, Seguridad y Defensa, entre otras.

Actualmente, los países con más desarrollos en sistemas mecatrónicos son Estados Unidos, Japón, Corea, Italia y Alemania, y se espera que esta mezcla de países se mantenga en un futuro. Durante los últimos 30 años la automatización ha consistido en reemplazar únicamente los mecanismos con sistemas mecánicos inteligentes. Ahora la tendencia es que los procesos de manufactura en su conjunto se vuelvan cada vez más automatizados, más inteligentes y autónomos.³ Hoy en día, las empresas cambian sus operaciones de manufactura a países que ofrecen alternativas más económicas para conservar la competitividad. Muchas empresas están encontrando en la innovación y automatización una alternativa rentable y efectiva para reducir costos e incrementar su calidad. La imagen de una fábrica del futuro con cientos de robots funcionando a lo largo de toda

² Getting a hold on mechatronics; Steven Ashley, Mechanical Engineering Editor, 2007.

³ Mecatrónica a Technology Forecast. Vanston, John H. Texas State Technical. 2007

la planta, donde solo un ser humano se puede localizar a cientos de metros de distancia rodeado de controles y monitores es para algunos un sueño y para otros una pesadilla.³

Durante las últimas décadas la mecatrónica y en especial la robótica han tenido una gran presencia en la industria, especialmente en la industria automotriz y la industria electrónica que actualmente utilizan el 70% del parque de robots en el mundo.

En el ámbito de la robótica se diferencia entre dos variantes en función de su campo de actuación:

La **robótica industrial** definida en la Norma ISO 8373 como la manipulación multifuncional, controlada automáticamente, reprogramable en tres o más ejes, fija o móvil, utilizada en aplicaciones de automatización de tareas productivas. Las principales actividades a las que se destinan estos robots son la soldadura, el ensamblaje, la manipulación, el transporte y la pintura.

Y en los últimos años han aparecido nuevas áreas de aplicación de la robótica que se han agrupado bajo la denominación de **robótica de servicios**. En esta clasificación se incluye el resto de robots que no se encuadran dentro del campo de la robótica industrial. Según la IFR, un robot de servicios es un robot que opera de forma automática o semi automática, para realizar servicios útiles para el bienestar de los seres humanos, excluyendo toda operación relacionada con la fabricación. Estos robots se caracterizan por acercarse al ciudadano para realizar tareas de tipo doméstico y profesional, apareciendo en sectores como la medicina, cirugía, rehabilitación, limpieza, etc.

Los expertos afirman que es de esperar que la robótica de servicios tenga una gran expansión en los próximos años en los que serán nuevos retos tecnológicos⁴. Un robot de servicio es, pues, un robot que ayuda a los seres humanos, por lo general mediante la realización de un trabajo que es sucio, opaco y distante, peligroso o repetitivo, como las tareas domésticas. Por lo general son autónomos y/o gestionados por un sistema de control integrado en el mismo, y que no requieren de manuales para su operación⁵.

La clasificación de la Robótica de Servicio por parte de la IFR, muestra que hay al menos 60 aplicaciones distintas para este tipo de sistemas, estas aplicaciones han sido ser agrupadas en las siguientes categorías⁶:

Robots de campo: Agricultura, ganadería (ordeña), forestal, minería, espacio, etcétera.

Robots de limpieza profesional: Limpieza de suelos, ventanas y paredes, tanques y tuberías, piscinas, etcétera.

Robots de inspección y mantenimiento: Alcantarillas, tanques, tuberías, etcétera.

Robots de construcción y demolición: Desmantelamiento y demolición en instalaciones nucleares, construcción de edificios, etcétera.

Robots logísticos: robots de mensajería y correo, AGVs en fábricas y almacenes, transportes autónomos, etcétera.

Robótica médica: Sistemas de diagnóstico, ayuda en cirugía (cirugía con mínima invasiva), sistemas de rehabilitación, etcétera.

⁴ Robótica de servicio y robótica espacial: Dos áreas de gran oportunidad para México. Juan Humberto Sossa Azuela. Academia Mexicana de Ingeniería. Junio 28 de 2016.

⁵ <http://www.roboticadeservicios.com/>

⁶ <http://www.ifr.org/service-robots/>

Robots de defensa, rescate y seguridad: robots antiminas o desminado, robots contra incendios, robots de vigilancia y seguridad, vehículos aéreos no tripulados, vehículos terrestres no tripulados, etcétera.

Robots submarinos: Robots soldadores, exploradores, dragadores, localizadores, etcétera.

Robots para relaciones públicas: Robots servidores en hoteles y restaurantes, robots guías, robots para marketing, etcétera.

Robots de propósito especial: Robots en estaciones de servicio, por ejemplo.

Robots para tareas domésticas: Robots aspiradores, robots de limpieza de suelos, robots cortacésped, robots limpia-piscinas, etcétera.

Robots de entretenimiento: Robots para jugar, robots de hobby, robots educativos, etcétera.

Robots asistentes a discapacitados: Sillas de ruedas robotizadas, robots de rehabilitación personal, etcétera.

Robots transportadores: Robots para el transporte de personas, robots para el transporte de objetos diversos.

Robots para la seguridad y vigilancia en el hogar.

Robots humanoides.

Adicionalmente, emerge la **Robótica Espacial**, dado que la robótica también está jugando un papel preponderante en aplicaciones espaciales donde la necesidad de explorar territorios lejanos, de difícil accesibilidad y condiciones de vida, se han mostrado como único medio de exploración.

Sin duda a equivocarse, el espacio exterior es uno de los campos más desafiantes para la aplicación de la tecnología robótica. Debido a que espacio es un ambiente muy duro con temperaturas extremas, vacío, radiación, gravedad y grandes distancias, el acceso humano es muy difícil y peligroso y, por tanto, muy limitado. Si como humanidad deseamos conquistar el espacio, lo tendremos que ir haciendo a través de máquinas robotizadas. El desarrollo continuado de la robótica espacial se convierte pues en una prioridad.⁴

La Robótica Espacial se encarga del desarrollo de máquinas de propósito general capaces de sobrevivir (por un tiempo) bajo los rigores del ambiente espacial circundante, y llevar a cabo tareas de exploración, ensamble, construcción, mantenimiento, servicio u otras tareas que pueden no haber sido completamente entendidas al momento del diseño del robot. En general la robótica espacial considera dos áreas de trabajo:⁴

La robótica orbital que se encarga del diseño, construcción puesta en operación de robots que ejecutarán misiones alrededor de la Tierra. Destacan los robots voladores de ensamble. El desarrollo de este tipo de máquinas ha sido abordado desde los 80's, lo que se aprecia detalladamente en los reportes realizados por Akin, D. *et al* a la NASA.⁷ Entre los escenarios contemplados para el uso de este tipo de robots está, por ejemplo, el de la construcción de estaciones espaciales. Debido a la dificultad para llevar a cabo este tipo de tareas en forma autónoma, la cooperación entre seres humanos y sistemas remotos para la manipulación de lanzaderas (Canadarm) o sistemas remotos para la manipulación de estaciones espaciales (Canadarm 2) se ha venido produciendo en los últimos años. Otras aplicaciones de este tipo de robots son el reemplazo de componentes, el repostaje de combustibles, la reparación, el rescate y el re-orbitado de satélites, por mencionar algunas.⁴

⁷ Space applications of automation, robotics and machine intelligence systems (ARAMIS), phase II: Volume 1, 2 and 3. Akin, D. *et al*. Rep. NASA. 1983.

La robótica planetaria se ocupa del diseño y fabricación de robots para la exploración de cuerpos celestes, como la Luna y otros satélites y, por supuesto planetas. Los primeros robots de este tipo lanzados sobre la superficie lunar los encabezan los modelos Lunokhod 1 y 2 (1970 y 1973, respectivamente) de tecnología rusa. Estos robots fueron tele-operados desde la tierra sobre la superficie lunar para recorrer distancias de varias decenas de kilómetros. El primer robot de este tipo fabricado con tecnología estadounidense es el vehículo lunar errante (VLE) que fue usado en las misiones Apolo en el periodo de 1971 a 1972. Los dos primeros robots exploradores lanzados sobre la superficie marciana fueron los Vikingo 1 y 2 en 1975-1976. Aunque estos robots permanecían en un solo lugar, una vez depositados por el transportador correspondiente, venían provistos de un brazo robótico para la recolección de muestras de la superficie y llevar a cabo análisis en el lugar. Otro esfuerzo en esa dirección lo constituyó el robot Phoenix de la NASA, que tuvo un exitoso aterrizaje sobre el ártico marciano. Este robot, venía equipado con un robot manipulador de cuatro grados de libertad de 2.4 metros de extensión, era capaz de realizar tareas con destreza como excavación, raspado y adquisición de muestras. Uno de los logros más exitosos del lado de los robots de exploración móviles comienza en 1997 con el robot de exploración Sejourner como parte de la misión Pathfinder. Después de esta misión, durante el periodo comprendido entre 2004 y 2009, vino la misión de Exploración de Marte Rover (MER), con los robots Spirit (Rover de exploración marciana – A o MER-2) y Opportunity (Rover de exploración marciana – B o MER 1). El último de los Rovers lanzados al planeta rojo fue el Curiosity, el cual forma parte de la misión de laboratorios científicos sobre Marte (MSL). Fue lanzado al espacio de Cabo Cañaveral en noviembre 26 de 2011 y aterrizó sobre la superficie marciana el 6 de agosto de 2012. ⁴

Con lo anterior es evidente que en la actualidad el avance de la robótica en los diferentes ámbitos pasa por investigar y desarrollar sistemas con comportamientos más elaborados con sensores más precisos y completos, actuadores más rápidos, flexibles, y ligeros, controles más robustos y adaptables al entorno, y el diseño de nuevas interfaces para una comunicación más cercana a los humanos.⁸

Hoy en día, las capacidades específicas de trabajadores y máquinas se combinan de forma más inteligente que nunca, lo que no sólo aumenta la productividad sino también mejora la calidad del lugar de trabajo. En la colaboración humano-robot, el robot se convierte en el asistente del trabajador. Mientras que las tareas simples, repetitivas y físicamente extenuantes se están automatizando cada vez más, los seres humanos, con su habilidad, creatividad y know-how, seguirán jugando un papel central en el futuro. La combinación de habilidades humanas y robóticas es una fórmula de éxito que se refleja, por ejemplo, en la fabricación de automóviles en la industria automovilística alemana el número de robots aumentó un 17% entre 2010 y 2015, y a su vez el número de empleados aumentó el 13%. En la Industria Alemana en general a finales de 2016, el número de robots industriales de nueva instalación incrementó un 14%, llegando a 290.000 unidades durante el año. De 2017 a 2020 se estima que habrá un continuo crecimiento promedio de al menos 13% por año. ⁹

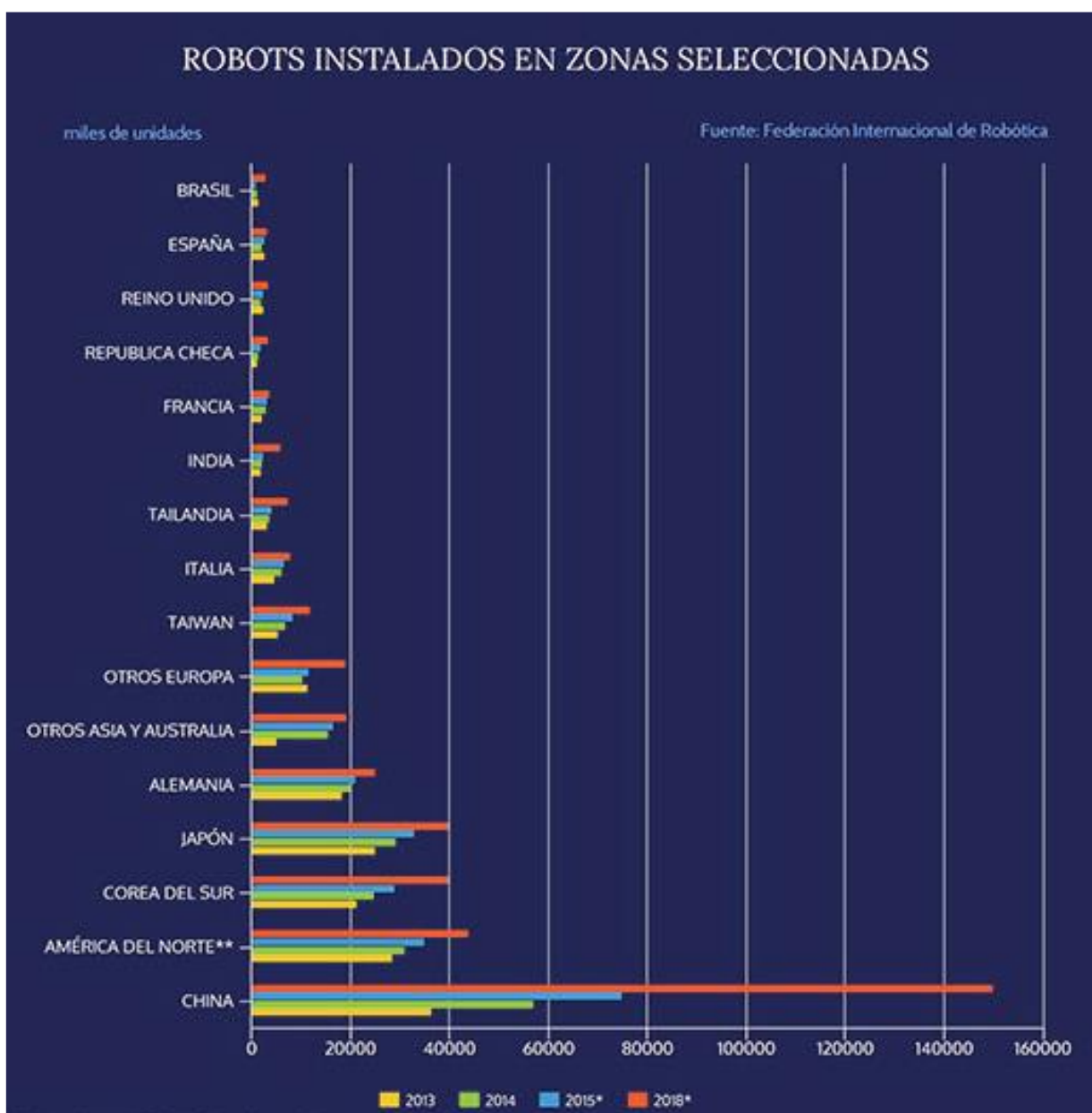
Según la Federación Internacional de Robótica, que es una de las fuentes más fiables en este mercado, las ventas mundiales de robots alcanzaron casi las 230.000 unidades en 2014, esto supuso

⁸ La I+D+i en la robótica, Panorama mundial. Libro blanco de la robótica. Efrén Armando Osorio Ramírez.

⁹ El Mercado de robótica en Alemania. Estudio realizado por Ignacio Goicoechea Goenaga, bajo la supervisión de la Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Berlín en Alemania. Noviembre 2017.

un crecimiento del 29% y al iniciar 2015 las unidades vendidas alcanzaron 240,00 creciendo un 8%. Japón, Alemania, Corea del Sur, America del Norte (EEUU, Canada y México) y se ha unido recientemente China en 2014, son los países que tienen mayor número de robots industriales instalados. Otro dato importante, es que se han alcanzado cifras récord en implantación de nuevos robots industriales en América del Norte, que incluye Estados Unidos, Canadá y México, en Europa y especialmente en el mercado chino, como se observa en la grafica de la Figura 1.¹⁰

Figura 1. Panorámica de los robots industriales instalados en el mundo



Fuente: <http://www.ifr.org/service-robots/statistics/>

¹⁰ <http://www.ifr.org/service-robots/statistics/>

En cuanto a los robots de servicios se encuentra menos información estadística, los móviles articulados han sido los más vendidos, unas 150.000 unidades en 2015.¹¹ Otro caso peculiar son los drones. El dron como juguete ya fue el regalo estrella en Estados Unidos en 2014, según la Aviación Federal de EE. UU. y para la Navidad de 2015 las ventas de drones alcanzó cifras record al llegar al millón de unidades.

Los fabricantes de robótica han hecho preparativos para este tipo de perspectivas de crecimiento. Con este fin, las capacidades de producción han aumentado, y la mayoría de los fabricantes europeos están operando nuevas ubicaciones en los grandes mercados de venta de China y EE.UU.

ESTADO ACTUAL A NIVEL DE MÉXICO

La robótica y la mecatrónica se encuentran a la vanguardia de la innovación tecnológica, lo que ha permitido que las nuevas generaciones de ingenieros sean capaces de resolver problemas de relevancia práctica, convirtiéndose así en el motor productivo de muchos sectores económicos en la mayoría de los países industrializados. En este momento, en nuestro país se ha iniciado su incursión en el ámbito industrial. Las oportunidades que la ingeniería mecatrónica ofrece son numerosas, continúan expandiéndose y generan cada día nuevos retos que deben abordarse.

A solicitud de la Secretaría de Economía y de la Fundación Mexicana para la Innovación y Transferencia de Tecnología en la Pequeña y Mediana Empresa, FUNTEC, A.C., el Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C., realizó un estudio que contempla un diagnóstico y prospectiva de la Mecatrónica en México, esto desde un panorama académico e industrial. Este estudio parte del análisis de la mecatrónica en el contexto internacional, en donde se revisa la situación actual y perspectivas de desarrollo en los países y bloques económicos más representativos, continuando con la situación actual y perspectivas de la mecatrónica en México y concluyendo con el análisis de las estrategias y nichos de oportunidad que países como México tiene para consolidar el desarrollo de esta disciplina. Es importante resaltar una de las conclusiones de este estudio fue: “La implicación de la mecatrónica como disciplina en la mejora de procesos productivos y de productos terminados es clara, la competencia mundial y la globalización de los mercados obligan a una competencia frontal en nuestros propios mercados, sin embargo la brecha tecnológica en algunos sectores requiere de una vinculación urgente con las instituciones y organismos que conocen del tema.”¹²

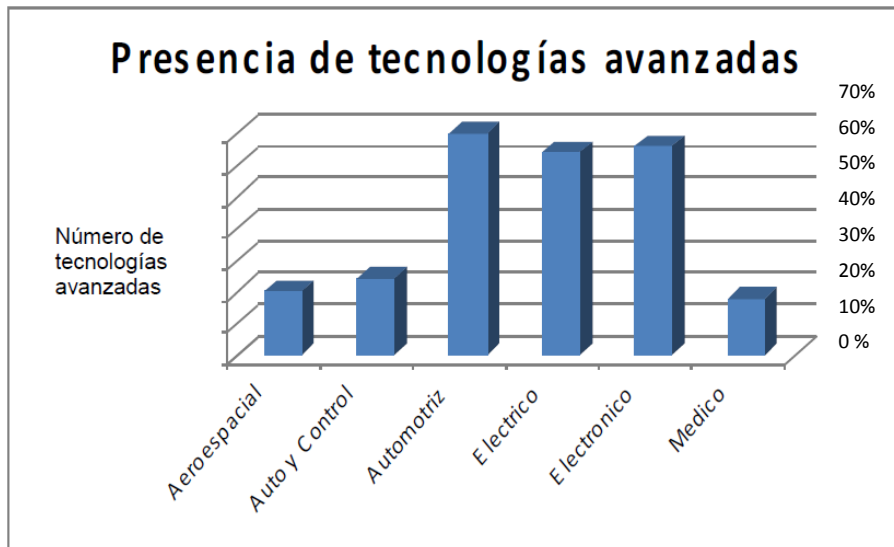
En la última década, la industria nacional ha venido incorporando el concepto mecatrónico en el diseño y desarrollo de nuevos productos así como también las tecnologías y metodologías modernas en la planeación, diseño y operación de sistemas automatizados de producción, lo cual ha contribuido enormemente al desarrollo tecnológico con gran impacto en la industria y en los servicios. Lo anterior ha permitido a las empresas optimizar sus inversiones y recursos para competir con una oferta eficiente y de alta calidad en los mercados mundiales, lo cual es de vital importancia para el crecimiento industrial de la región y en general del país, haciéndose competitivas en el marco local e internacional.

¹¹ El reto exterior de la robótica española. ELEXPORTADOR. Revista para la internacionalización, mayo 2016.

¹² Diagnóstico y prospectiva de la Mecatrónica en México. Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C. 2008.

En la gráfica de la Figura 2, se observa cómo se ha venido incorporando tecnologías avanzadas en los principales sectores productivos del país.

Figura 2. Presencia de Tecnologías Avanzadas en los Sectores Productivos de México



Fuente: Información tomada de Diagnóstico y prospectiva de la Mecatrónica en México. Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C. 2008.

Desafortunadamente el origen de esa tecnología avanzada no es propiamente México, los tres países principales de donde se importa maquinaria y equipo mecatrónico son: Estados Unidos, Alemania y Japón. De acuerdo a la información presentada en el estudio que contempla un diagnóstico y prospectiva de la Mecatrónica en México, los nichos de oportunidad para desarrollar tecnología mexicana se encuentra en los procesos simples y repetitivos en los que las empresas no visualizan como positiva la relación costo beneficio al adquirir maquinaria compleja que vendrá a tener capacidades no utilizadas. Esta es una oportunidad latente para el desarrollo tecnológico del país en el campo de la robótica y la mecatrónica.

Adicionalmente, según los razonamientos teóricos de los expertos en economía a nivel mundial, “la nueva economía está sustentada en la fusión del conocimiento-tecnología y está relacionada con el aumento de productividad que se experimenta en aquellas regiones más activas en investigación, desarrollo e innovación. Así la actividad científica que desarrollan las universidades las convierten en uno de los agentes más importantes de los sistemas nacionales de innovación, por tanto, las instituciones y centros de investigación ya no tienen como únicas funciones la formación y la investigación, sino que además deben contribuir al crecimiento económico de las regiones en donde se ubican”.¹³

TENDENCIAS A NIVEL GLOBAL

Desde un punto de vista más global, no cabe duda de que la robótica será parte fundamental de la 4ª Revolución Industrial en la que ya estamos inmersos. En efecto, este producto mejora la productividad de todas las plantas que lo integran, así como coste y calidad de productos fabricados

¹³ Las patentes en las IES de México. Sinar Suarez Sánchez.

(declaración del FMI a España y Europa en general, con el objetivo de ayudar a pasar del actual 15% de PIB industrial al 20% para el 2020). La robótica es un sector que tomará protagonismo en los próximos 50 años tal y como lo vaticina la IFR, generando empleo cualificado, dando sostenibilidad a las plantas y aumentando la exportación.⁹

La tecnología robótica está ganando importancia en el contexto de la digitalización y expansión de la industria 4.0. El mercado global de la industria está en pleno crecimiento y es muy dinámico: desde el año 2010 ha aumentado a un ritmo anual mínimo del 7%. Según los datos de la "Federation of Robotics (IFR)", el número total de robots industriales a nivel mundial habrá superado la barrera de los dos millones para 2018. Esto supone alrededor de un tercio más que al comienzo de la década.⁹

Asimismo, la Industria 4.0 jugará un papel cada vez más importante en la manufactura global. A medida que se superan los obstáculos como la complejidad del sistema y la incompatibilidad de los datos, los fabricantes integrarán los robots en las redes de máquinas y sistemas de toda la fábrica. Países como España ya están alineados con estas nuevas tendencias, tanto a nivel europeo como internacional, la industria 4.0: fabricación inteligente, que pretende desarrollar unos procesos de producción mucho más flexibles, que se puedan adaptar a líneas de producción más cortas, que introduzcan la intercomunicación a todos los niveles, todo el tema del internet de las cosas, big data, entre otras tendencias.¹⁴

La demanda de robots industriales de los clientes será igualmente impulsada por toda una variedad de factores. Esto incluye el manejo de nuevos materiales, eficiencia energética, sistemas de automatización más desarrolladas, lo que permite la fábrica del mundo real y el mundo virtual que están, cada vez más, entrelazados entre sí.

Las empresas del sector ya están desarrollando y comercializando nuevos modelos de servicio: estos se basan en datos en tiempo real recopilados por sensores conectados a robots. Los analistas predicen un mercado de robótica en la nube en rápido crecimiento en el que los datos de un robot se comparan con datos de otros robots en el mismo o en diferentes lugares. La red en la nube permite a estos robots conectados realizar las mismas actividades. Esto se utilizará para optimizar los parámetros del movimiento del robot, tales como velocidad, ángulo o fuerza.¹⁵

En ese sentido, de la Robótica de Servicio también se vaticina una gran demanda durante los próximos años. Además de los fabricantes de robots, existen numerosas empresas que utilizan y desarrollan la robótica para dar un mejor servicio a sus clientes. Claro ejemplo de ello es Amazon, que en el futuro usará drones para entregar sus envíos. Tesla y BMW también están entre los pioneros en el campo de los automóviles eléctricos y autopropulsados. En el caso de los llamados "Smart cars" o coches movidos por energía eléctrica, Apple y Google ya son consumidores de tecnología robótica. En una dirección similar, Osram utiliza dichos avances en el desarrollo de las "Smart Home", que prometen revolucionar la vida doméstica.

A nivel de Europa ya se han establecido varios grupos temáticos de investigación y desarrollo tecnológico en distintos campos, como son la robótica educativa, la robótica social y asistencial (que

¹⁴ <http://www.hisparob.es/>

¹⁵ <http://www.aeratp.com/aer-atp/>

incluye robótica médica, rehabilitación, la robótica aérea (centrada en drones principalmente), la robótica de vigilancia y seguridad y grupos de robótica colaborativa.

Desde hace décadas, la robótica se ha introducido con mayor celeridad en las industrias, con innovaciones cada vez más futuristas. De hecho, el desarrollo de la inteligencia artificial tiene perspectivas de crecimiento que son cada vez más atractivas para los inversores. Prueba de esto es el reciente análisis del Boston Consulting Group que señala que el mercado crecerá un promedio del 10 al 15% anualmente hasta el año 2025.¹⁶

Sin duda, el aumento del poder de cálculo, algoritmos e inteligencia artificial vienen acompañados de menores costes y una nueva generación de robots de más pequeños, capaces, seguros, autónomos y móviles, con aplicaciones más allá de los sectores tradicionales de automoción e industrias, en agricultura, logística, educación y finanzas.

A ello se añade el cambio de modelos de negocio de producción masiva a personalización masiva, pues los consumidores están exigiendo productos y servicios individualizados que sólo pueden ser fabricados rentablemente en plantas automatizadas. Es el caso de Nike, que personaliza el color y cordones de las zapatillas, incluso con el nombre de su propietario.¹⁷

Según los expertos en la industria, los segmentos de mayor potencial en la parte industrial son robots colaborativos, mucho más flexibles y capaces de trabajar con humanos, que pueden automatizar los procesos de producción de las pymes. En el campo de la logística, la automatización facilita el rápido desarrollo de plataformas de comercio electrónico, reduciendo costes y tiempos de entrega. En el sector sanitario, por otra parte, la inteligencia artificial se aplicará al diagnóstico y automatización de análisis laboratorios y secuenciación de ADN, rebajando los costes de los tratamientos.

En base al estudio realizado por McKinsey se considera que los sectores de servicios, transporte, agricultura, comercio minorista e industrial son los sectores en los que los sistemas automatización y la robótica pueden tener especial incidencia. En otros sectores más específicos como el de la industria hotelera y restauración, el 72% de las tareas hasta ahora realizadas por personas podrán ser transferidas a máquinas, según los datos del mencionado estudio, como se observa en la grafica de la Figura 3.

Los sistemas de educación necesitarán evolucionar considerando los cambios en el lugar de trabajo y los proveedores de educación tendrán que trabajar en conjunto con el gobierno para que mejoren las habilidades básicas en los campos de la ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM, por sus siglas en inglés) y para dar un nuevo énfasis a la creatividad así como al pensamiento crítico y sistémico. Será importante desarrollar la agilidad, la resistencia y la flexibilidad en un momento cuando lo más probable es que el trabajo de todas las personas cambie en algún grado.

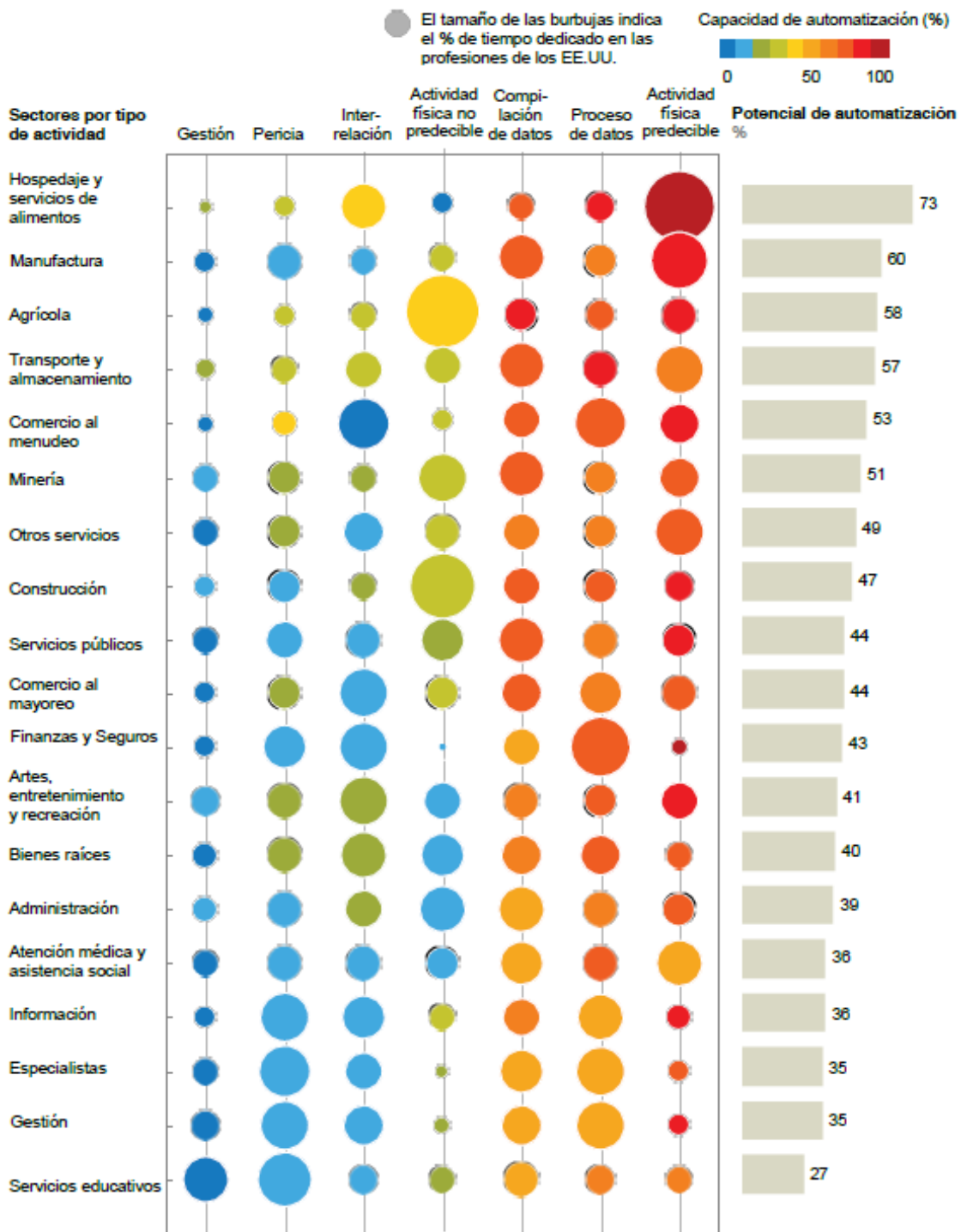
Por último, la automatización creará la oportunidad de que las personas usen las capacidades inherentes a los humanos que a las máquinas les cuesta mucho trabajo emular: el pensamiento lógico, la solución de problemas, las competencias sociales-emocionales, aportar pericia, dar entrenamiento, desarrollar a otros y la creatividad. Por ahora, la expectativa del mundo laboral es que los hombres y las mujeres asuman tareas repetitivas que no requieren de estas competencias

¹⁶ Un futuro que funciona: automatización, empleo y productividad, Mckinsey Global Institute. Enero, 2017.

¹⁷ David H. Autor, "Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation," *Journal of Economic Perspectives*, volume 29, number 3, 2015.

inherentes. Conforme las máquinas realicen cada vez más las actividades predecibles del trabajo, estas capacidades serán más valiosas.

Figura 3. Potencial de la capacidad de automatización de diferentes sectores a nivel mundial



Fuente: Un futuro que funciona: automatización, empleo y productividad, Mckinsey Global Institute. Enero, 2017.

TENDENCIAS A NIVEL DE MÉXICO

Los continuos avances en mecatrónica, automatización, robótica, control de procesos, redes de comunicación, monitorización remota, modelado y simulación de procesos y sistemas autónomos, entre otras nuevas tendencias, permiten que en México se empiece a innovar para alcanzar mayores niveles de bienestar y productividad para la sociedad.

Es importante resaltar que dentro de las tendencias de desarrollo hoy en día, está el avance de las aplicaciones de la robótica y la mecatrónica para contribuir al bienestar de los seres humanos minimizando las tareas arduas y riesgosas, que en el caso de México están presente en muchas de las actividades productivas de sectores como la minería y la extracción de petróleo. De igual forma, la robótica también sirve como sistema de apoyo a las labores cotidianas de las personas con capacidades diferentes, en la realización de tareas remotas o muy precisas, y dadas las estadísticas del Instituto Nacional de Estadística INEGI hay un alto porcentaje de la población que requiere este tipo de ayuda.

La automatización industrial es otra de las áreas en las cuales la robótica y la mecatrónica tienen un campo más de acción, dada la necesidad de remplazar las viejas estructuras mecánicas presentes en algunas pequeñas y medianas plantas de producción en México, por sistemas flexibles y livianos controlados digitalmente a través del uso de la "inteligencia artificial".

De tal manera que son muchos los campos de acción donde el desarrollo del país se vea apoyado por la aplicación de las nuevas tecnologías emergentes en el mercado, pero a partir del diseño, desarrollo e implementación de robots y sistemas mecatrónicos que puedan ser aplicados en las siguientes áreas prioritarias del país:

Sector Industrial: porque es necesario desarrollar y ofrecer a la industria nacional (en el sector electrónico, de manufacturas eléctricas, automotriz, automatización y control, aeroespacial, de bienes de consumo, farmacéutico, de alimentos, de sistemas de refrigeración, textiles y metalmeccánicas principalmente), soluciones a partir de la investigación científica y aplicada, altamente innovadoras, cuyos resultados sean desarrollos tecnológicos en las áreas de conocimiento de robótica y mecatrónica, conocimiento patentable y comercializable. Ello posibilitará, mediante convenios con este sector, la vinculación urgente que disminuya la brecha tecnológica en el país, así como aumentar la capacidad para desarrollar tecnología.

Sector de la Defensa y Seguridad Nacional: porque debido a las políticas nacionales, este sector se ha concientizado de la necesidad de incorporar la investigación científica y aplicada, y el desarrollo tecnológico como parte de sus quehaceres. En los últimos años se han generado políticas y metodologías para iniciar los procesos de investigación y de apropiación tecnológica, que permitirán fomentar la investigación y dar solución a problemas propios del sector, con tecnología y con recursos humanos propios, de ahí la necesidad de ofrecer proyectos que cumpla con estas expectativas y apoye el desarrollo tecnológico de este Sector.

Sector Minero: dado el auge en el crecimiento de este sector, especialmente en el campo de la explotación petrolera, es necesario atender los requerimientos generados por las empresas dedicadas a la explotación minera y contribuir al fortalecimiento de las capacidades tecnológicas y de innovación en este sector, cuyo desarrollo es un campo propio de desempeño de los egresados del programa propuesto. Un aporte importante del documento Perspectivas de la mecatrónica en México es que resulta atractivo desarrollar nuevas tecnologías para la explotación y beneficio de los recursos del sector minero con procedimientos basados en

sistemas mecatrónicos que permitan hacer más eficientes los procesos productivos disminuyendo los costos de operación, ya que este es un nicho de oportunidad claramente identificado.

Sector Agrícola: este sector es de gran importancia para el país, pero hasta ahora no se han atendido a gran escala las necesidades tecnológicas que allí se generan, es necesario orientar la realización de proyectos de investigación aplicada en robótica y mecatrónica que atiendan los desafíos que plantea este sector y resuelvan los problemas tecnológicos para aportar al incremento de la producción de este sector. De acuerdo al documento *“Diagnostico y Prospectiva de la mecatrónica en México”*, se considera que un nicho de oportunidad para el desarrollo de la mecatrónica es la investigación, desarrollo e innovación de maquinaria y equipo que incrementen la productividad del campo e industria agroalimentaria buscando la industrialización y el incremento en el nivel de vida de la población rural del país.

Sector Salud y Protección Social: porque se requieren expertos en el desarrollo de sistemas de telemanipulación u operación remota y sistemas de telepresencia, para ofrecer nuevos productos en el área de la ingeniería de rehabilitación e instrumentación biomédica y bioingeniería. Y adicionalmente, se requiere incursionar en el mundo de la realidad virtual, en el diseño de elementos de interfaces hápticas y para el desarrollo de robots de servicio en el diseño y desarrollo de sistemas móviles utilizados en diferentes entornos para individuos con capacidades diferentes.

Sector Empresarial: porque apartir del estudio de perspectivas de la mecatrónica analizado, se detectó que es necesario generar nuevos tipos de empresas dedicadas a actividades como el Desarrollo de software, Empresas integradoras de tecnología, Empresas que ofrezcan servicios de mantenimiento y modificación/mejora a las tecnologías existentes, Empresas proveedoras de automatización para la alimentación de materias primas, Empresas que distribuyan/comercialicen/fabriquen maquinarias de prueba para el sector productivo principalmente.

Académico: porque la formación superior avanzada en los distintos ámbitos del ejercicio profesional, laboral y productivo así como la formación de docentes e investigadores en los distintos campos del saber científico y tecnológico, y la generación de masa crítica, particularmente en áreas de menor o incipiente desarrollo, es una prioridad nacional. Especialmente, en el campo de la Robótica la Mecatrónica, dada la necesidad de estimular procesos de investigación y generar nuevo conocimiento, tanto en los campos de la investigación científica como en la investigación aplicada en las diferentes sectores del país. Una de las conclusiones del estudio *“Diagnostico y Prospectiva de la mecatrónica en México”*, fue que existe “la necesidad de formular el contenido de la currícula para nivel técnico, licenciatura y postgrado en robótica y mecatrónica de acuerdo con las necesidades de la industria y los segmentos a desarrollar por interés nacional.”

Adicionalmente, hay campos emergentes donde la robótica y la mecatrónica pueden generar muchos beneficios. Un primer escenario para el desarrollo sostenido del país consiste en el diseño, fabricación e inserción de todo tipo de robots de servicio que asistan en múltiples tareas a los seres humanos de sino todas, si al menos la mayoría de las ciudades. Robots de servicio orientados a: Sistemas inteligentes de cómputo (sistemas controladores) conectados a redes de sensores que pudieran coordinar: 1) todo el transporte público, 2) el manejo energético en las calles, factorías y

demás edificios públicos, 3) controlar: la calidad del medio ambiente, el uso calidad del agua, el manejo de residuos, 4) coadyuvar en la reducción de índices delictivos, etcétera. Diversos tipos de robots pudieran operar como meseros en restaurantes, recepcionistas en hoteles, guías en museos, cargadores en fábricas, mensajeros, auxiliares de limpieza en casa, ayudantes en hospitales, etcétera.⁴

No es difícil ver que las ganancias monetarias en el diseño, construcción y puesta en operación de robots de servicio con altos desempeños pueden ser muy grandes. La aprobación de leyes, el establecimiento de ecosistemas para la producción en serie de robots de servicio que al igual que las computadoras han llenado cada espacio de nuestras casas, lugares de trabajo y demás sitios donde como mexicanos nos movemos día a día es clave para el desarrollo de la Robótica de Servicio en nuestro país. Esto redundará, sin duda, en una mejor calidad de vida para los mexicanos.⁴

Otra área de interés en la que se puede empezar a trabajar es la robótica aeroespacial dado el marcado interés que existe en México por incursionar en el desarrollo de tecnología espacial. De acuerdo al documento generado por la AGENCIA ESPACIAL MEXICANA y PROMÉXICO denominado PLAN DE ÓRBITA 2.0. MAPA DE RUTA DEL SECTOR ESPACIAL MEXICANO, México está comprometido con el desarrollo del sector espacial. El Plan de Órbita 2.0 retoma la estrategia delineada en 2012, para ajustarla a la situación actual y a las perspectivas del sector espacial tanto de México como a nivel internacional, e incorporar nuevos elementos orientados a impulsar el desarrollo industrial y, al mismo tiempo, contribuir a la atención de los grandes retos del país en materia de educación, seguridad, telecomunicaciones, sustentabilidad ambiental y salud, entre otros temas. Las líneas estratégicas que se proponen en este documento abarcan la exploración y el aprovechamiento de los nichos de oportunidad para México, con base en las capacidades actuales de la industria nacional y con el objetivo de impulsar actividades en los segmentos que por su impacto económico, social y científico tienen mayor valor potencial. Si bien los hitos y proyectos plasmados en esta estrategia responden a una visión integral de largo plazo, también se consideran acciones concretas para impulsar el fortalecimiento y el desarrollo armónico del ecosistema industrial del sector espacial mexicano, enfocando esfuerzos en líneas prioritarias que serán la base para alcanzar una mayor participación en la economía del espacio, responder a grandes problemas globales, generar beneficios para la sociedad mexicana y transferir aplicaciones científicas y tecnológicas a otros sectores industriales del país. El desarrollo de esta estrategia implica la generación de las capacidades industriales, científicas, educativas y de innovación, necesarias para incursionar y fortalecer la posición de México en mercados como los de satélites de observación y sus aplicaciones en cambio climático, alerta temprana, seguridad nacional, sector agropecuario y gestión de recursos; manufactura 4.0; diseño de hardware y software para las plataformas y componentes espaciales, y aplicaciones en salud y en educación, por mencionar algunos.¹⁸

En este mismo documento se indica que desde la perspectiva del sector privado, existe una alta prioridad en el desarrollo e incubación de nuevos nichos de mercado que presentan oportunidades para México, ya sea por su fortaleza en capacidades instaladas o por el valor potencial que dichos nichos representan. Específicamente, la industria definió como prioritario el establecimiento de un clúster espacial que identifique mercados, desarrolle estrategias y articule esfuerzos para lograr que la participación industrial de México ascienda al equivalente a 1 por ciento de la industria espacial mundial.¹⁸

¹⁸ PLAN DE ÓRBITA 2.0: MAPA DE RUTA DEL SECTOR ESPACIAL MEXICANO. AGENCIA ESPACIAL MEXICANA, PROMÉXICO. Julio de 2017.

TENDENCIAS AL INTERIOR DE LA RED DE EXPERTOS EN ROBÓTICA Y MECATRÓNICA DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

Al interior de la Red de Expertos se han generado varios proyectos enmarcados en las tendencias actuales de la robótica y la mecatrónica en el mundo.

En el Laboratorio de Robótica y Mecatrónica del Centro de Investigación en Computación del Instituto Politécnico Nacional se trabaja actualmente en los siguientes proyectos:

El primero está relacionado con el diseño y puesta en operación de un prototipo de robot de exploración espacial tipo ROVER. Este robot, por supuesto, no incluirá todas las características que debería tener si tuviera que ser lanzado al espacio. La idea es que el robot cuente con capacidades para poder moverse de manera autónoma en un ambiente no estructurado y desconocido. Para esto contará con los sensores y, más importante, con la algorítmica que le permitirá, de “manera inteligente” realizar tareas asignadas en ambientes parecidos a los que se darían, por ejemplo, en la superficie marciana.

El segundo proyecto tiene que ver con el diseño, construcción y puesta en operación de un robot prototipo con forma humanoide para auxiliar a los seres humanos en la carga y transporte de objetos. Al igual que en el proyecto anterior, el robot humanoide cargador contará con los sensores y algorítmica para poder moverse en forma autónoma dentro de su espacio de trabajo y que además sea capaz, con buena certidumbre, de realizar las tareas que le sean asignadas.

Adicionalmente, otro grupo de trabajo del CIC está trabajando en tres proyectos relacionados con el cuidado y preservación del ambiente a partir de mejorar la Movilidad urbana. El Primero se trata de la disminución de la emisión de contaminantes en el ambiente a través del uso del medio de la bicicleta como medio de transporte. Segundo, se pretende mejorar la movilidad en lugares de gran afluencia de personas; con la adopción de estrategias de gestión de la información e implementación de nuevas tecnologías para hacer más seguros, eficientes y sustentables los sistemas de transporte de la ciudad y para permitir su integración. De esta manera se pueden generar beneficios para operadores públicos y privados, al reducir los costos de operación derivados de una administración ineficiente; al mismo tiempo se facilita la acción gubernamental de rectoría de los servicios de transporte al simplificar los procesos de monitoreo, evaluación y por ende planeación. Y como tercer área tenemos el desarrollo de un nuevo modelo de bicicleta que tiene por objetivo, ser más segura para el usuario, porque en lugar de la transmisión del movimiento a través de una cadena, es a través de una pequeña bomba hidráulica que permitirá hacer cambios de velocidad suaves, y mantener un pedaleo constante bajo condiciones de esfuerzo mínimo.

En ESIME Azcapotzalco se está trabajando en el área de Robótica Médica desarrollando dispositivos y sistemas para rehabilitación y prótesis para personas y animales. Ya se han desarrollado varios prototipos que están en evaluación de la parte médica y algunos ya han sido llevados a evaluar si es factible o no obtener una figura de protección industrial.

En el CIDETEC se está trabajando en el diseño de sistemas mecatrónicos utilizando está orientado a la implementación de metaheurísticas para la solución de los problemas de optimización. Los miembros de la red que pertenecen al CIDETEC se dedican a optimizar los diseños mecánicos generados a partir de aplicar las técnicas del diseño concurrente, con el fin de obtener diseños óptimos que cumplan con las especificaciones de operación dadas, como mínimo consumo de energía o reconfigurabilidad. Adicionalmente, desarrollarán la implementación de otras metaheurísticas para la solución de los problemas de optimización que permitan modificar las leyes

de control de los mecanismos, considerando el peso del paciente, así como la ley de control para la sincronización de los mecanismos de cada articulación.

En este momento un grupo multidisciplinario conformado entre ESIME Azcapotzalco y CIDETEC están trabajando en diseñar y manufacturar sistemas de rehabilitación motora, enfocados en las necesidades de rehabilitación de niños con deficiencias motoras, especialmente con PCI; utilizando una metodología de diseño concurrente que permita la selección óptima de los mecanismos que se diseñan y la posibilidad de reconfiguración de la estructura con base en las dimensiones antropomórficas de los usuarios para los cuales está destinado, pacientes con edades entre 2 y 12 años. Y a futuro, se propone el desarrollo de una interfaz háptica y de realidad virtual que serán aplicadas en el diseño final del sistema, para la interacción entre el infante y los dispositivos de rehabilitación.