

DIAGNÓSTICO Y PROSPECTIVA DE LA

MECATRÓNICA

EN MÉXICO



SE



SECRETARÍA
DE ECONOMÍA





Introducción	4
I. La Mecatrónica en el Contexto Internacional	
a. Situación actual de la mecatrónica y su aplicación práctica (automotriz, aeroespacial, electrónica, automatización y control, eléctrica, médica).	5
b. Desarrollo de la mecatrónica en el mundo.	13
c. Impacto del uso de la mecatrónica sobre los costos de producción, respecto del uso de tecnologías tradicionales (información cuantitativa).	31
d. Intensidad en el uso de recursos humanos y remuneración promedio en relación con las demás actividades económicas.	33
e. Tendencias tecnológicas para los próximos 10 años.	35
f. Operación de las empresas internacionales del sector de mecatrónica en el mercado global: distribución de operaciones entre los diferentes países y qué motiva esa distribución.	37
g. Políticas públicas implementadas en los países que han tenido éxito en desarrollar la tecnología mecatrónica, así como las implementadas en los países emergentes. Incluir información detallada del tratamiento fiscal a empresas de investigación y desarrollo, y a empresas en general que realizan actividades de investigación y desarrollo.	47
h. Implicaciones en materia de regulación relacionadas con la mecatrónica.	49
i. Mecanismos de fondeo internacional para el desarrollo de la mecatrónica	49
II. La Mecatrónica en el Contexto Nacional	
a. Diagnóstico tecnológico sobre la situación actual de la mecatrónica en México.	54
b. Diagnóstico tecnológico sobre la situación actual del sector industrial por segmentos y productos mecatrónicos (automotriz, aeroespacial, electrónica, automatización y control, eléctrica y médica)	64
-Resumen de la situación de los sectores industriales en México	86
c. Relación de la mecatrónica con otras tecnologías y su interacción con otros eslabones de las cadenas productivas.	98
d. Inventario detallado de capacidades en Centros de investigación y desarrollo especializados en mecatrónica:	102
Oferta de productos y servicios tecnológicos	102
Recursos humanos capacitados y	103
Formación de recursos humanos	105
e. Áreas de investigación y desarrollo en que trabajan actualmente las empresas y los centros públicos, e identificar los proyectos de investigación y desarrollo con potencial para implementarse.	109
f. Demanda sectorial en México, indicando productos, procesos y sistemas funcionales específicos	110



g. Inventario de instituciones públicas, organismos privados, etc., que promueven y apoyan el desarrollo de la mecatrónica.	112
h. Tipo de empresas establecidas que tienen potencial para desarrollar o para aplicar esta tecnología, y tiempo estimado para que lo hagan comercialmente.	115
i. Áreas de oportunidad con potencial para la creación de empresas nuevas y tiempo estimado para que esto ocurra	120
III. Estrategias y nichos de oportunidad en materia de educación, ciencia, tecnología y políticas públicas	
a. Comparación de la situación en México con la situación en los países líderes en materia desarrollos y aplicaciones de la mecatrónica.	121
b. Resumen de resultados obtenidos en materia de política pública y comparación de la situación en México con los países con éxito en el desarrollo del sector.	125
c. Análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas.	127
d. Estrategias y nichos en los que México tiene o puede desarrollar ventajas competitivas y estrategias para desarrollar nichos con ventajas competitivas.	132
e. Estrategias para que en México las empresas de los distintos sectores económicos adopten el uso de tecnologías mecatrónicas.	135
IV. Lista de Contactos Estratégicos	137
V. Conclusiones	
a. Resultado obtenidos para cada uno de los temas abordados	144
b. Estrategias para detonar el desarrollo de la mecatrónica en el país.	149
c. Conclusión general del análisis realizado	151
Anexos	152



Introducción

La automatización es una de las alternativas que la mayor parte de las empresas a nivel mundial han elegido para mantener su competitividad en el mundo globalizado en el que hoy desarrollan sus actividades productivas y de comercialización. También la automatización ha dado lugar al surgimiento de nuevos productos que facilitan las actividades cotidianas de las personas, que incrementan sus niveles de seguridad y que les proporciona nuevas opciones de esparcimiento.

La Mecatrónica surge de la combinación sinérgica de distintas ramas de la Ingeniería, entre las que destacan: la mecánica de precisión, la electrónica, la informática y los sistemas de control. Su principal propósito es el análisis y diseño de productos y de procesos de manufactura automatizados.

El término mecatrónica fue acuñado en Japón a finales de la década de los 60's en la industria electrónica y desde entonces ha venido difundiéndose paulatinamente en el resto del mundo con gran interés por parte de los países altamente industrializados. 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 historia de la Mecatrónica en México inicia a principios de los 90's, cuando varias Instituciones de educación superior ofrecen algunas asignaturas de mecatrónica. En lo que respecta a las empresas es difícil saber con precisión la fecha en la cual se inició la incorporación de procesos o productos mecatrónicos, sin embargo se sabe que el sector automotriz fue pionero y en la actualidad se mantiene a la cabeza, se espera que el sector aeronáutico siga tomando fuerza en el país y con ello sea otro pilar en el desarrollo de la mecatrónica a nivel industrial.

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., se realizó el presente estudio, el cual 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 nuestro país tiene para consolidar el desarrollo de esta disciplina.



I. La mecatrónica en el contexto internacional

a. Situación actual de la mecatrónica y su aplicación práctica (automotriz, aeroespacial, electrónica, automatización y control, eléctrica y médica)

El concepto de mecatrónica nace en la industria electrónica de Japón a finales de los sesentas y ha sido adoptada como parte fundamental en el diseño y manufactura de productos en Asia y la mayor parte de Europa. La mecatrónica se puede definir como un sistema de tecnologías que integra procesos mecánicos y eléctricos a través de sistemas de control y tecnologías de información. Mecatrónica es otra forma de decir “sistemas mecánicos inteligentes”.

La mecatrónica permaneció durante diez años como una tecnología confinada al nivel de programas de investigación y desarrollo de las industrias de aeroespacial espacial y 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 especialistas¹.

Durante los últimos cinco años es cuando 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 y los reproductores de DVD y ha sido incluida como una de las tecnologías clave en el horizonte 2005 por la Federación de Industrias de Ingeniería Mecánica.

Como cualquier tecnología innovadora, la mecatrónica debe lograr cambios significativos en diferentes campos:

- Cambios en diseño.- Debido a que las herramientas de CAD para mecatrónica deben ser capaces de globalizar más y más los requerimientos mecánicos, electrónicos y de procesamiento de datos.
- Cambios en producción.- Debido a que la integración de subsistemas mecánicos y electrónicos requieren habilidades, pero también condiciones de ensamblaje que no siempre están disponibles en las empresas.
- Cambios en calidad y confiabilidad.- Debido a que la definición de las condiciones de operación detalladas para sistemas complejos, está lejos de ser obvia.
- Cambio cultural.- Debido a lo que la mecatrónica está demandando a nivel de competencias, tanto individuales como en los sistemas de colaboración entre industrias.

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



En los 70's la mecatrónica estaba relacionada principalmente con la servo tecnología usada en productos como puertas automáticas, maquinas 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 microescala - que diversificaron el uso de sistemas mecatrónicos.²

Sistemas Mecatrónicos.- Los Sistemas Mecatrónicos son todos aquellos sistemas que tienen puertos de entrada y de salida de tal manera que procesan información, con ellos se generan fuerzas y movimientos específicos adecuados a ciertas situaciones.

Mecatrónica se ha definido como la Suma Sinérgica de la Mecánica de Precisión, la Electrónica, Sistemas y Control. Cuando integramos los 3 tipos de sistemas, hablamos de sistemas mecatrónicos. Los sistemas mecánicos generan fuerzas, en combinación de los Sistemas Eléctricos, tendremos sistemas mecánicos con procesamiento de señales. Mediante los Sistemas y el Control, obtenemos sistemas electromecánicos, capaces de hacer actividades automatizadas, sistemas que reconocen ciertas condiciones mediante sensores, procesando la información, y generando actividades mecánicas flexibles.

Un sistema mecatrónico, a diferencia de un sistema mecánico, está integrado con Sensores, Microprocesadores y Controladores. Para llevar esto a cabo, los sistemas mecatrónicos se apoyan con PLC's.

Los PLC, tienen cuatro unidades principalmente:

1. La Memoria Programable. Las instrucciones para la secuencia de control lógico se acomodan ahí.
2. La Memoria de Datos. Las condiciones de los cambios, interbloqueo, valores pasados de datos y otros datos de trabajo.
3. Los dispositivos de salida. Estos son los controladores de hardware / software para los procesos industriales como motores y válvulas.
4. Los dispositivos de entrada. Estos son los controladores de hardware y software para los sensores de los procesos industriales como sensores de cambio de estado, detectores de proximidad, ajuste de interbloqueo y más.

Clasificación de Sistemas Mecatrónicos

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

❖ MEMS (Sistemas Micro electromecánicos)

“Un microsistema es un sistema inteligente miniaturizado que integra funciones sensoras, de proceso y/o actuación. Comprenderá como mínimo dos de las siguientes propiedades: eléctricas, magnéticas, mecánicas, ópticas, químicas, biológicas u otras, de forma integrada en un solo chip o en un módulo híbrido multichip”

❖ NEMS(Sistemas Nano electromecánicos)

❖ Convencionales:

- Robótica: Robots industriales, Microrobots, Robots móviles
- Sensores y actuadores mecatrónicos
- Control de sistemas mecatrónicos
- Análisis de vibraciones
- Optimización, diseño óptimo
- Diagnósticos integrados
- Análisis de fallas
- Tribología en sistemas mecatrónicos³
- Análisis de señales
- Sistemas de inyección de combustible
- Sistemas de control de movimiento
- Sistemas eléctricos automotrices
- Sistemas digitales
- Sistemas mecánicos
- Sistemas térmicos
- Sistemas magnéticos
- Sistemas electromecánicos

Robótica.- En general, un robot es considerado como un mecanismo guiado por sistemas de control que pueden captar información del medio ambiente con el objeto de realizar automática y repetidamente tareas complicadas. Como resultado, varios observadores ven el campo de la robótica como la aplicación última de la mecatrónica.⁴

Durante las últimas décadas la mecatrónica y en especial la robótica ha tenido una gran presencia en la industria especialmente en la industria del automóvil y la industria electrónica que actualmente utilizan el 70% del parque de robots en el mundo. En los últimos años han aparecido nuevas áreas de aplicación de la robótica que se han agrupado bajo la denominación de robótica de servicios. 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.

³ La tribología es la ciencia que estudia la fricción, lubricación y desgaste de materiales.

⁴ Mechatronics; a Technology Forecast, John H. Vanston, Ph.D. Texas State Technical College (TSTC) System, July 2007



Es de esperar que la robótica de servicios tenga una gran expansión en los próximos años en los que serán nuevos retos tecnológicos:

- Robots desarrollando actividades en trabajos de campo, bosques, agricultura, limpieza, transporte, demolición.
- Robots de asistencia personal, ayuda a labores del hogar, asistencia a personas mayores y discapacitadas.
- Robots en aplicaciones de seguridad civil como robots que actúen en la lucha contra el fuego, misiones de rescate, monitorización del entorno, patrullaje, etc.

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. El desarrollo 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.

A continuación se describen las diferentes áreas de investigación en el campo de la robótica, agrupadas según se ha definido en la plataforma europea de la robótica (EUROP):

- Robótica industrial
- Robótica de servicios
- Robots espaciales y de seguridad

Robótica Industrial

La implantación de la robótica cuenta con una gran experiencia consolidada en la industria con más de 30 años de experiencia desde que en 1961 General Motors instaló el primer robot (Unimate) en sus factorías.

Inicialmente los robots industriales han tenido gran peso en la industria automovilística y electrónica si bien en los últimos años se ha extendido a otros ámbitos industriales como ensamblaje de aviones, reciclaje de productos e incluso industria agroalimentaria. Una de las características de la fuerte implantación ha sido la reducción de precios en un 40% en los últimos 15 años unido a una duplicación de la precisión de los robots industriales en el mismo periodo.

Si bien inicialmente en los años 90's Japón lideraba la producción de robots industriales con un 60% de la producción mundial, en la actualidad la producción se encuentra liderada de forma equilibrada por Europa y Japón. En Japón cabe destacar las compañías Fanuc, Yasakawa, y Kawasaki siendo la primera la de mayor producción con una cuota del 20% de producción mundial. En Europa cabe destacar las compañías ABB que en últimos años se ha centrado en la fabricación de robots paralelos de alta velocidad con sistemas



de visión integrados, y Kuka especializada en robots de gran tamaño y capacidad de carga.

La automatización industrial es un factor estratégico de las empresas para aumentar la productividad y competitividad de sus productos frente a nuevos mercados emergentes que basan su competitividad en mano de obra barata. Al mismo tiempo la utilización de robots industriales permite el mantener empleos más calificados, con mayor nivel de competencia y habilidad. Este hecho se hace especialmente fundamental en Europa debido a que la población esta cada vez más envejecida.

La investigación en el campo de la robótica industrial en los próximos años pasa por combinar productividad y flexibilidad y su integración completa en los procesos de fabricación. Para ello habrá que afrontar los siguientes retos tecnológicos:

- Desarrollar nuevos sistemas de manipulación y agarre. Brazos más flexibles más rápidos con relaciones de fuerza-peso 1:1 frente a las relaciones 1:10 actuales.
- Desarrollo de sistemas multi-robot que cooperen en los sistemas fabricación, en muchos casos puede suponer la modificación de los sistemas de transporte.
- Desarrollo de sistemas de fabricación en las que los robots cooperen con los trabajadores, lo que obliga a desarrollar sistemas más seguros que permitan a robots y operarios trabajar en los mismos escenarios.
- Programación flexible de los robots basada en la información de los sensores y no en secuencias preestablecidas, lo que permitirá una fabricación más flexible y adaptable a nuevos procesos de fabricación.
- Desarrollo de interfases avanzadas que permitan una programación y manejo de los robots de forma más sencilla, incluida la comunicación por voz y gestual.
- Desarrollo de métodos para la integración rápida y flexible de los diferentes componentes del proceso de fabricación: máquinas herramientas, robots, alimentadores, sistemas de transporte, etc.
- Desarrollo de sistemas de planificación inteligente para obtener ciclos de producción más cortos, tiempos de puesta a punto menores y sistemas flexibles reconfigurables.
- Mejoras en las tecnologías de los sensores, incrementando la resolución, velocidad, precisión, incorporación de inteligencia, herramientas de diagnóstico y unidades de procesamiento.
- Métodos detección de fallos y recuperación en cada nivel jerárquico que incrementarán la robustez y flexibilidad de los sistemas de producción.
- Desarrollo de robots con sistemas de control abiertos, escalables, distribuidos y estandarizados que permitan su integración a través de redes de comunicación en el entorno industrial.



- Desarrollo de métodos para la detección preventiva de fallas, sistemas de auto diagnóstico inteligentes y funciones de reparación autónoma o semiautónoma.

Robótica de Servicio

Aunque la aplicación de la robótica en ámbitos diferentes al industrial se remonta a 20 años atrás, el concepto de robots de servicio no apareció hasta 1989 en el que Joseph Engelberger publicó el libro “Robotics in Service”. En el libro ya se definían al menos 15 campos de aplicación de la robótica entre los que cabe destacar:

- Medicina
- Limpieza comercial
- Tareas del hogar
- Agricultura
- Servicios militares
- Minería
- Construcción
- Ayuda a personas discapacitadas
- Vigilancia

Robótica espacial y de seguridad

Por robótica espacial se entiende el desarrollo de máquinas que han de operar en el espacio y que han de realizar tareas de exploración, ensamblaje, construcción, mantenimiento o servicio de otros dispositivos en el espacio. Los robots pueden ser controlados localmente (ej. Brazos robóticos al exterior de la nave espacial) o desde grandes distancias (ej. Vehículos Rovers de exploración espacial). La necesidad de utilizar robots en el espacio viene justificada por las características del entorno de operación: hostil, peligroso y a muchos kilómetros de distancia. En muchos casos la larga duración de los viajes espaciales hace inviable el desplazamiento de humanos. Además los viajes espaciales son muy costosos, por lo que desplazando robots no es necesario programar viajes de vuelta. Por otra parte el fracaso de misiones no implica pérdidas humanas.

Aplicaciones de la Mecatrónica

Los sistemas mecatrónicos tienen aplicaciones importantes en las ramas industriales más representativas como son: Biotecnología, Médica, Electrónica, Telecomunicaciones y Servicios de Información, Distribución, Transportación y Logística, Construcción, Energía, Minería, Petróleo, Maquinaria Industrial,

Agricultura, Defensa entre otras. A continuación se presenta un análisis de algunas aplicaciones industriales de la mecatrónica:⁵

- **Industria Automotriz.-** Los automóviles de hoy son complejos, contienen sistemas mecatrónicos semi-autónomos que dependen de monitores sofisticados y sistemas de control para su operación. Estos sistemas incluyen la inyección electrónica de combustible, frenos anti-bloqueo, control de crucero y monitores de presión de neumáticos. A futuro, se pretende substituir las conexiones mecánicas entre los controles operados por el conductor (pedales de freno y aceleración, dirección) y los aparatos que actualmente hacen el trabajo (frenos, columna de dirección). Adicionalmente, en sistemas de seguridad como frenos anti-bloqueo y dirección, los sistemas basados en mecatrónica proporcionan una respuesta mas rápida en condiciones ambientales críticas que lo que el operador puede reaccionar (Spong, 2006).
- **Aviación y Aeroespacio.-** Los aviones modernos utilizan sistemas neumáticos e hidráulicos complejos para proporcionar potencia a sus funciones críticas. Típicamente, estos sistemas son operados por aire a alta presión y temperatura generado por los motores jet que es conducido por una serie de válvulas y preenfriadores antes de ser utilizado. Algunos aviones nuevos, incluyendo el Boeing 787 reemplazan un número de sistemas hidráulicos y neumáticos con sistemas mecatrónicos operados por generadores eléctricos alimentados por los motores jet del avión.
- **Equipos Automatizados al Consumidor.-** Esta es un área extremadamente amplia de aplicación de la mecatrónica que incluye máquinas contestadoras, impresoras, reproductoras de discos compactos, cajas registradoras y copiadoras. Nuevas e interesantes aplicaciones incluyen productos que combinan tecnologías de información, sensores, actuadores y sistemas de visión y auditivos para ajustar su operación y satisfacer las necesidades de los consumidores. Un ejemplo de estos sistemas es el robot "in house" que cualquier persona puede utilizar para apoyarse en varias tareas, incluyendo el despacho de medicinas de acuerdo a esquemas preprogramados utilizando procedimientos simples de diagnóstico como la medición de la presión sanguínea.
- **Biotecnología.-** Las herramientas mecatrónicas tienen un uso creciente para realizar investigación y desarrollo de productos en ambientes biotecnológicos. Las aplicaciones de la mecatrónica / robótica en biotecnología incluyen:
 - Análisis de DNA y secuencia de proteína
 - Cribado molecular y sistemas de descubrimiento de drogas
 - Preparación de bio-muestras
 - Análisis funcional de células vivas
 - Cristalografía de proteínas

⁵ Mechatronics; a Technology Forecast. John H. Vanston, Ph.D.



El uso de herramientas mecatrónicas ha incrementado dramáticamente la productividad de la investigación en biotecnología liberando a los investigadores de tareas no productivas y repetitivas.

- **Semiconductores y Computación.**- El elevado costo de construir fabricas de semiconductores para producir circuitos integrados y sistemas micro-electro-mecánicos (MEMS) ha llevado a la industria de los semiconductores a poner énfasis en optimizar el uso eficiente de recursos. El movimiento eficiente de materiales a través de la planta determina en gran medida, la productividad de la empresa. (Samsung, 2006). La mecatrónica, específicamente la automatización, es una herramienta importante que los fabricantes de semiconductores utilizan para lograr ese objetivo.
- **Energía Alternativa.**- Adicionalmente a las preocupaciones acerca del medio ambiente, los crecientes costos de la energía han despertado un interés creciente en el uso de fuentes alternas de energía como el hidrógeno, el sol y el viento como medios de generación de energía. Los sistemas de celdas de combustible integran controles mecánicos, eléctricos y electrónicos así como subsistemas químicos para convertir fuentes de hidrógeno como el metano, en potencia.

b. Desarrollo de la mecatrónica en el mundo.

A continuación se describen las acciones y programas implementados y la infraestructura con la que cuentan los países líderes del desarrollo de la mecatrónica en el mundo.

Estados Unidos

Muchas de las categorías de trabajo requieren actualmente que la destreza en mecatrónica y la habilidad en solución de problemas sean características de los trabajadores que actualmente elaboran, dan servicio y reparan una amplia gama de equipo. Los técnicos en mecatrónica están involucrados en robótica, manufactura automatizada, automóviles, aviones, monitores médicos, etc. Se han identificado 25 profesiones que requieren un conjunto de habilidades en mecatrónica. Estas incluyen técnicos en ingeniería industrial, eléctrica y mecánica entre otras. La tasa de crecimiento estimada para estas profesiones en el período 2002 – 2012 se estima estará entre el 5% y el 31% con un promedio del 15% anual. La creación de empleos en esta rama se estima en 18,435 plazas anualmente.⁶

A pesar de no ser un concepto nuevo, los Estados Unidos ha sido lento en adoptar los conceptos de la mecatrónica en el desarrollo de su industria y de su fuerza de trabajo. La mecatrónica como disciplina no existía en las instituciones de los Estados Unidos hasta mediados de los '90s. Sin embargo, debido a la creciente demanda de trabajadores con habilidades trans disciplinarias a nivel de post secundaria, un gran número de “community colleges” y universidades incorporaron la mecatrónica en sus currículas existentes.

En los últimos años se han desarrollado diferentes programas de investigación en el campo del desarrollo de sistemas de transporte inteligentes y vehículos inteligentes, en Estados Unidos se ha lanzado diferentes iniciativas en la última década desde el sector público y privado. Entre los financiados por el sector público cabe destacar “California Path program” cuyo objetivo es desarrollar tecnologías para la conducción automática en autopistas, el “Intelligent Vehicle Initiative program” cuyo objetivo es potenciar la seguridad en la conducción, y el “Minnesota DOT” programa orientado a desarrollar tecnologías para camiones y autobuses. Especial mención precisa el DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) que organiza una competencia para vehículos Inteligentes. El objetivo es motivar a los investigadores el desarrollar vehículos capaces de desplazarse grandes distancias (400 km) en entornos parcialmente estructurados. En la primera competencia en 2003 ningún vehículo consiguió terminar el recorrido, sin embargo en el 2005 cinco equipos terminaron la competencia, siendo ganador el equipo de la Universidad de Stanford consiguiendo el premio de 2 millones de dólares⁷.

⁶ Mechatronics; Eliza Evans, IC2 Institute

⁷ La I+D+i en la robótica, Panorama mundial



Otro indicador del avance de la mecatrónica en los Estados Unidos es el nivel de financiamiento a la investigación para proyectos relacionados con este campo; como ejemplo, se conoce que mientras que en 1995 la Fundación Nacional de Ciencia (NSF) apoyó solamente 2 proyectos relacionados con esta disciplina por un monto de 122,350 dólares, para 2004 esta misma institución apoyó 25 proyectos por un valor de 929,008 dólares.⁸ Aunque aún se encuentra en niveles relativamente bajos, es claro que la mecatrónica está ganando la atención de los investigadores estadounidenses junto con otros avances tecnológicos relacionados como la biotecnología.

Los programas educativos en mecatrónica han sido desarrollados desde los '70s y '80s en todo el mundo a nivel de bachillerato, de técnico, profesional y postgrado. Sin embargo en Estados Unidos su introducción ha sido lenta; ha sido hasta fechas recientes cuando las instituciones norteamericanas han iniciado su oferta de programas de ingeniería para satisfacer la creciente demanda de trabajadores con estas habilidades. A continuación se detallan algunos de estos programas:

- Sierra College.- Es un "community college" del área de Sacramento, California que inició en enero de 2006 un programa de mecatrónica. Este programa está soportado con becas del estado y de la industria local por un monto de 1.2 millones de dólares.
- Nebraska Mechatronics Education Center.- Es un esfuerzo de colaboración entre seis "community colleges" del estado de Nebraska, tres universidades, agencias de gobierno y empresarios de Nebraska. El centro preparará una nueva generación de trabajadores en manufactura avanzada. Está apoyado por un programa de becas por 3.0 millones de dólares, de los cuales la mitad son aportados por el Central Community College y la otra mitad por los empleadores locales.
- Alexandria Technical College.- Localizado en Minnesota, desarrolla actualmente un programa en tecnologías avanzadas de empaque y se encuentra asociado con industria local e instituciones europeas quienes transmiten el modelo educativo en mecatrónica a Minnesota.
- Clinton Community College.- Ubicado en Iowa, ofrece un diplomado en técnico en mecatrónica y un grado asociado en tecnología en mecatrónica. Cuenta con un fondo de becas estatales por 366,000 dólares.
- Suffolk County Community College.- Localizado en el estado de Nueva York inaugurará próximamente el Centro de Educación en Mecatrónica, el cual contará con un fondo de becas por 2.38 millones de dólares proveniente del Departamento del Trabajo de los Estados Unidos.
- Instituciones con carreras de 4 años y postgrados.- Varias universidades de los Estados Unidos cuentan con secuencias de uno a cuatro cursos en mecatrónica a nivel graduado y algunas cuentan con laboratorios de entrenamiento en mecatrónica. Estas universidades incluyen al Cal Tech, Georgia Tech, Idaho State, Iowa State, Kettering University, MIT, Minnesota State, North Carolina State University, Ohio State, Pennsylvania State,

⁸ Mechatronics; Eliza Evans, IC2 Institute



Purdue, Rensselaer, San José State, Stanford, UC Berkeley, University of Missouri, University of Utah, University of Washington, Texas A&M, and Northwestern.⁹

Unión Europea

Dentro del esquema del 6º Programa Marco elaborado por la Comisión Europea, se instituyó una acción de coordinación denominada “EUMECHA-PRO” con el objeto de analizar el panorama de investigación e innovación industrial en el área de mecatrónica para sistemas de producción en la Unión Europea. El objetivo de EUMECHA-PRO es incrementar la habilidad de la comunidad europea de la mecatrónica para concebir – de acuerdo a estrategias comunes y a una fuerte cooperación con la industria – los sistemas de producción de las empresas del futuro.¹⁰

EUMECHA-PRO está constituido como un consorcio coordinado por Agoria, institución con sede en Bruselas, Bélgica y en el cual participan 21 instituciones europeas de distintos países como Alemania, Suiza, Italia, Bélgica, España, Austria, Finlandia, Holanda, Inglaterra, Francia y Turquía. Las principales instituciones participantes son:

- K.U. Leuven.- Departamento de Ingeniería Mecánica – Bélgica
- VTT.- Centro Técnico de Investigación – Finlandia
- Delft University of Technology – Holanda
- University of Twente.- Drebbel Institute – Holanda
- Fraunhofer Institute for Manufacturer Engineering – Alemania
- University of Padenborn.- Heinz Nixdorf Institute – Alemania
- KTH.- The Royal Institute of Technology – Suecia
- FMTC.- Flanders Mechatronics Technology Centre – Bélgica
- ITIA – CNR – Italia
- Loughborough University – Inglaterra
- LCM.- Linz Centre of Mechatronics – Austria
- Bogazici University – Turquía
- DLR.- Institute of Robotics and Mechatronics - Alemania

El proyecto fue diseñado como una contribución a los programas de investigación y desarrollo de la Comunidad Europea en general, tomando en cuenta que la innovación industrial no está relacionada únicamente con la investigación, sino también con las buenas prácticas para el diseño mecatrónico en compañías industriales y en un sistema educativo adecuado mediante un marco de referencia que permita la formación de ingenieros

⁹ Glurglutlu, V., A.E. Bayoumi, G. Nall (2002) Mechatronics and Small Structures

¹⁰ European Mechatronics for a new Generation of Productions Systems – The Roadmap 2005

mecatrónicos excelentes para la industria de manufactura. Se analizan los requerimientos y enfoques de la educación en mecatrónica para lograr una visión europea de cómo los sistemas educativos pueden ser mejorados y coherentes a través de toda Europa.

El rol principal que la ingeniería mecatrónica juega dentro de la industria europea debe ser reflejado en acciones para mejorar el nivel educativo en esta materia. Las actividades mostradas en los panoramas de investigación e industrial de la Comunidad Europea proporcionan una base importante para diseñar un programa educativo dirigido a satisfacer las necesidades detectadas en estas áreas. EUMECHA-PRO desarrolló una propuesta para lograr un nivel de excelencia en la educación en mecatrónica que cumpla con los requerimientos de una industria europea que busca los niveles de competitividad e innovación requeridos para una competencia global. Esta propuesta crea el Certificado Europeo de Master en Mecatrónica y está basada en los siguientes objetivos y características:

- La cantidad de estudiantes que son actualmente atraídos por la educación en ingeniería no es suficiente para cubrir las necesidades. El entrenamiento para una carrera global y la certificación europea deben incrementar su atractivo y por lo tanto, el número de estudiantes y egresados en esta materia.
- Las principales universidades europeas acuerdan intercambiar estudiantes, proporcionar cursos basados en Internet y hacer uso de las mejores prácticas que permitan mejorar el contenido y la calidad de los programas académicos.
- Utilizar el concepto CDI2O (Concebir, Diseñar, Innovar, Implementar y Operar) para corroborar el correcto aprendizaje y habilidades de los graduados en combinación con la posibilidad de utilizar las mejores prácticas y competencias de un grupo de universidades líderes, deberá garantizar una educación de clase mundial.

Para establecer una visión común de la educación mecatrónica en la Unión Europea, EUMECHA propone los siguientes pasos para crear un marco educacional que cumpla con este objetivo:

1. Utilización del sistema de Bologna.- Las ideas clave de este sistema se utilizan para definir un esquema general de calificaciones que sea razonable y comparable, basado en un sistema de dos ciclos.
2. Balance entre conocimientos y habilidades.- La clave de la educación mecatrónica debe estar basada en la habilidad de utilizar conocimiento teórico dentro de las habilidades funcionales y en lograr el balance adecuado de estos atributos.
3. Viajar sin moverse.- La posibilidad de movilidad e intercambio no debe estar limitada al movimiento físico. La educación a distancia debe ser una herramienta para las especialidades de los grupos.
4. Balancear las diferencias.- las mejores prácticas identificadas son en muchos casos implementaciones de tradiciones locales y perspectivas

nacionales. La exploración y utilización de las diferencias se considera más útil que presionar hacia la unificación de los currículums académicos.

5. Universidades Líderes.- Cuando las universidades líderes en Europa intercambian estudiantes, cursos basados en Internet y hacen uso de sus mejores prácticas, el contenido del programa y su calidad mejorarán el currículum del mecatrónico europeo.

En resumen, el marco educacional de la Unión Europea para la formación de especialistas en mecatrónica deberá:

- Utilizar todos los mecanismos del sistema de Bologna para promover la movilidad.
- Cambiar el enfoque en el conocimiento a un balance entre conocimiento y habilidades.
- Promover la educación a distancia para lograr que estudiantes internacionales participen en cursos clave.
- Promover la inclusión de diferencias regionales en lugar de presionar para lograr un currículum unificado.
- Certificar a los Ingenieros Europeos en Mecatrónica.

El análisis del panorama industrial derivado de este programa proporciona una visión estructurada de las expectativas industriales a futuro para distintos sectores productivos. Por otro lado, el análisis del panorama de la investigación refleja las visiones y capacidades de la comunidad de investigación europea en mecatrónica y ambos panoramas se integran en una visión común. Las tecnologías emergentes y el enfoque de diseños integrados en el panorama de investigación revelan las nuevas oportunidades industriales, mientras que las expectativas industriales orientan la investigación hacia las necesidades del mercado.

Los esquemas y panoramas analizados en la Unión Europea a través de EUMECHA-PRO revelan que:

- La Unión Europea cuenta con una importante infraestructura de investigación en mecatrónica. Existen centros de excelencia con la capacidad de apoyar y trabajar con la industria. Es necesario un mayor esfuerzo en investigación y desarrollo de productos para convertir la investigación de los centros en aplicaciones reales.
- Se han producido esquemas dinámicos (road maps) con una metodología innovadora como soporte al 7º Programa Marco de la Unión Europea. La relevancia industrial de estos esquemas es clave para la competitividad y capacidad de manufactura de la industria europea.

En Europa la investigación en el sector del transporte se lleva a cabo básicamente a tres niveles: nivel industrial generalmente sin financiamiento público, a nivel nacional a través de programas de investigación propios de



cada país, y a nivel Europeo a través de contratos de investigación de la Comisión Europea.

Algunos países como Alemania, Italia, Holanda y Francia tienen programas específicos que potencian la investigación y desarrollo en el campo de los sistemas de transporte inteligente y “vehículos inteligentes”. Holanda es probablemente uno de los pioneros en la investigación del transporte en Europa con el apoyo del ministerio de transporte y trabajo, y de organizaciones privadas como TNO. El programa nacional de Holanda de investigación en el transporte alcanza los 150 Millones de euros.

En Francia la investigación en este campo está financiada por varios ministerios: ministerio de investigación, ministerio de transporte (ministerio de industria, ministerio de la ciudad) y organizaciones de investigación como INRETS (National Research Laboratory on Transport and Safety) o LPC (National Research Laboratory on Road Infrastructures). La investigación se organiza en programas de cuatro años de duración.

Entre los proyectos desarrollados cabe destacar “Predict1” (1998-2002) y “predict” (2002-2006) centrados en el campo de las carreteras inteligentes. Dentro de estos programas se ha desarrollado el proyecto ARCOS para mejorar la seguridad en la conducción y que agrupa a 50 socios industriales y académicos con un presupuesto de 12 Millones de euros¹¹.

Japón

Derivado del liderazgo que Japón ha tenido dentro de la investigación, desarrollo y comercialización de la robótica desde los ‘80s, el Programa de Evaluación de la Tecnología Japonesa (JTECH) escogió la mecatrónica como una de sus cuatro áreas a ser evaluadas. La mecatrónica en Japón se analiza separadamente en sus principales campos de aplicación: Automatización en la industria automotriz, maquinaria industrial y sistemas de control numérico, Integración de productos y manufactura de artículos electrónicos al consumidor y la industria de los semiconductores. Las áreas de investigación incluyen la cooperación universidad / gobierno / industria, cambios sociales y culturales en manufactura y el impacto de las tecnologías de información en la mecatrónica.

Dentro de la infraestructura con la que cuenta Japón para la investigación, desarrollo e innovación de la mecatrónica se encuentra¹²:

- **El Centro de Ciencia y Tecnología de Manufactura (MSTC).**- Este centro llamado anteriormente Centro de Robótica y Automatización de Fábricas (IROFA) fue establecido en 1985 bajo los auspicios del Ministerio de Comercio Internacional e Industria (MITI) y compañías privadas. Su objetivo es promover y coordinar las actividades de investigación y desarrollo en tecnologías de manufactura incluyendo robótica y automatización de plantas a través de cooperación internacional. El MSTC actúa como un centro de

¹¹ La I+D+i en la robótica, Panorama mundial

¹² International Technology Research Institute; Mechatronics in Japan: a Trip Report 1998

cooperación entre gobierno, industria, investigadores universitarios y otras instituciones de investigación. La cooperación incluye intercambio de personal de investigación, investigación conjunta y recopilación y difusión de información técnica.

El MSTC cuenta con un staff de 28 profesionales y es dirigido por un consejo de directores provenientes de compañías japonesas. Sus actividades principales incluyen:

1. Cooperación Internacional: Se ejecutan proyectos conjuntos de investigación y desarrollo con otros países para el desarrollo de la robótica y la automatización a través del Programa de Manufactura Inteligente (IMS) y del Protocolo de Manufactura Automatizada (MAP).
 2. Investigación y desarrollo en Tecnologías Fundamentales: Estas incluyen el Sistema de Interconexión de la Automatización de Plantas, Sistemas de Robots Híbridos y la creación de Sistemas de Automatización.
 3. Actividades de Investigación para Estandarización: El objetivo es definir políticas para la estandarización de los sistemas de automatización integral, su confiabilidad y seguridad y los lenguajes de programación de la automatización.
 4. Encuestas Técnicas: Se realizan para adquirir información concerniente a las tecnologías de manufactura incluyendo robótica y automatización. Las encuestas incluyen información sobre las tendencias nacionales e internacionales en el desarrollo de la automatización y estadísticas para la determinación del índice de automatización.
 5. Entrenamiento Técnico: El MSTC ofrece cursos de entrenamiento técnico en varias localidades para técnicos e ingenieros en robótica y automatización para mejorar su conocimiento y habilidades así como para promover las tecnologías más relevantes.
 6. Relaciones Públicas: La publicación de boletines y reportes con los resultados de las actividades así como la realización de simposiums y conferencias relacionados con la automatización.
- **El Centro de Manufactura de Sistemas Inteligentes (IMS).**- Con el objeto de mejorar la competitividad de manufactura en los países industrializados, Japón propuso el Programa Internacional Conjunto de Investigación y Desarrollo dentro del Programa de Sistemas de Manufactura Inteligente. Su objetivo es desarrollar sistemas de manufactura de siguiente generación en conjunto con sus socios de Australia, Canadá, Unión Europea, Noruega, Suiza y Estados Unidos. Esto abarca la sistematización del conocimiento acumulado en las industrias de manufactura y el establecimiento de sistemas de manufactura avanzada capaces de flexibilizar la integración de todo el rango de actividades corporativas, desde la toma de una orden hasta el diseño, producción y mercadeo de los productos. Al mismo tiempo, el programa tiene el objetivo de mantener una relación deseable entre la gente y las máquinas, preservando y mejorando la vitalidad de la industria manufacturera.

Derivado de los cambios tan rápidos que la industria manufacturera está enfrentando, el IMS analiza los siguientes aspectos:

1. Globalización: La globalización de las industrias manufactureras ha permitido que localicen su producción dentro o cerca de sus mercados, reduciendo riesgos relacionados con las fluctuaciones cambiarias y las políticas comerciales.
 2. Ambiente cambiante de trabajo: La industria manufacturera es afectada por la falta creciente de técnicos y la preferencia creciente de los jóvenes ingenieros por seguir otras opciones de trabajo.
 3. Ambiente cambiante de mercado: La proliferación de diversos estilos de vida en las sociedades económicamente avanzadas, dificulta la uniformidad de los mercados
 4. Aspectos ambientales: El creciente temor acerca de la degradación ambiental, obliga a la industria manufacturera a adoptar consideraciones ambientales como parte central de sus actividades.
 5. Costo de la I&D: El desarrollo de la industria manufacturera requiere de proyectos de investigación y desarrollo complejos y a gran escala. En muchos casos, no es posible que una sola empresa realice estos proyectos, por lo que la única solución es incrementar la colaboración internacional entre empresas, sector público, instituciones de investigación y sector académico.
- **El Laboratorio de Ingeniería Mecánica (MEL).**- Creado en 1937, el Laboratorio de Ingeniería Mecánica es uno de los laboratorios del gobierno de Japón que actualmente desarrollo investigación básica y aplicada en el área de mecatrónica. Su misión es “contribuir al desarrollo de la industria japonesa reduciendo la dependencia de tecnologías extranjeras”¹³. MEL cuenta con un staff de 200 investigadores permanentes en ciencia e ingeniería. Normalmente, son visitados por otros 200 investigadores provenientes de diversas empresas y universidades. Cuenta con un presupuesto anual del orden de los 34 millones de dólares, de los cuales más de 14 millones se dedican a investigación y desarrollo en siete áreas principales:
 - Ciencia y tecnología de materiales
 - Bioingeniería
 - Ciencia de información y sistemas
 - Tecnología de maquinaria avanzada
 - Tecnología en energía
 - Tecnología de manufactura
 - Robótica

¹³ Mechanical Engineering Laboratory Report. Home Page www.aist.go.jp/MEL



Adicionalmente, MEL desarrolla dos tecnologías relacionadas con las siete áreas principales: Mecatrónica y Optoelectrónica.

Derivado de que la misión de MEL es dar soporte tecnológico a la industria japonesa para ser más competitiva, los resultados de la investigación están disponibles para cualquier interesado en el mundo. Existen proyectos apoyados por el gobierno y una industria en particular, pero éstos son limitados.

La mecatrónica en MEL: Mucha de la investigación en mecatrónica está dirigida a proporcionar técnicas sobre inteligencia artificial y tecnologías de información. La investigación se realiza en cuatro divisiones:

- Ciencias de Información y Sistemas; trabajo sobre técnicas de procesamiento de información óptica y sistemas de instrumentación y control en ambientes complicados.
 - Tecnología de Máquinas Avanzadas; Investiga propiedades básicas de componentes mecánicos incluyendo micromáquinas.
 - Tecnología de Manufactura; Investiga tecnologías de manufactura en manufactura ecológica, máquinas híbridas, tecnología de superficies y sistemas de información de manufactura.
 - Robótica; Trabaja en tecnología avanzada de robótica, realidad virtual, telerrobótica y máquinas amigables.
- **La Universidad de Nagoya.**- La ciudad de Nagoya agrupa a muchas de las compañías electro-mecánicas de Japón y es el centro de las industrias de robótica, maquinaria, automóviles y aeroespacio.

El Laboratorio de Control de Micro Sistemas es parte del Departamento de Ingeniería de Micro Sistemas de la citada universidad, cuya característica principal es la vigorosa vinculación que mantiene con la industria. Adicionalmente, el laboratorio participa en proyectos nacionales a gran escala, como los programas de Tecnologías de Micro Máquinas y el Sistema de Manufactura Inteligente, ambos promovidos por el Ministerio de Comercio Internacional e Industria del Japón.

Las principales líneas de investigación seguidas por el laboratorio incluyen:

- Sistema de Robótica Celular
- Sistema de Microrobótica
- Sistema de Microrobótica basado en Micro Física
- Sistema Multimedia de Tele-Medicina
- Interfase Inteligente Humano – Máquina
- Robot de Locomoción Bípeda
- Manipulador de Control basado en Habilidades
- Procesamiento de Imágenes para Tecnologías de Bioingeniería.



Japón es el país más implicado en el desarrollo de tecnologías en el campo de los vehículos inteligentes. El ministerio de tierra infraestructuras y transporte japonés y la asociación AHSRA (Advanced Cruis-Assist Highway System Association) financian entre otros los siguientes proyectos: Advance Safety Vehicle (ASV), Advanced cruise- Assist Highway Systems (AHS), Super-Smart vehicle Systems (SSVS). Por otra parte la industria japonesa y en especial los fabricantes de automóviles están especialmente interesados en el desarrollo de sistemas de control y seguridad para los vehículos. Una de las ventajas con las que cuenta la industria japonesa es que en Japón se permite comercializar productos que no han alcanzado madurez tecnológica plena y que no son aceptados en mercados exteriores pero les permite verificar y evolucionar más rápidamente en el desarrollo tecnológico.

Rusia

La fortaleza tradicional que ha tenido Rusia en aeroespacio, defensa y maquinaria especializada ha incrementado considerablemente el uso de dispositivos mecatrónicos, combinando dispositivos mecánicos con sistemas de control electrónicos y de software. Recientemente se efectuó una visita de la “DTI Global Watch Mission” a Moscú y San Petersburgo para conocer sus últimos desarrollos¹⁴.

La mecatrónica es ampliamente utilizada en robótica, sistemas de navegación aérea y otros sistemas que requieren de elementos mecánicos inteligentes. La misión fue coordinada por el Centro de Investigación en Mecatrónica de la Universidad de Montfort y estuvo dirigida a aeroespacio y defensa así como a tecnologías especializadas relacionadas con las industrias de gas y del petróleo.

En Moscú, el equipo asistió a unas mesas de trabajo organizadas especialmente en la Universidad Tecnológica del Estado de Moscú donde organizaciones de investigación y empresas presentaron sus programas y capacidades en el desarrollo de la mecatrónica. Muchos fueron dispositivos para inspección de líneas de conducción de petróleo y gas, usos en medicina y manufactura.

Las principales instituciones que desarrollan la mecatrónica en Moscú son:

- **La Universidad Técnica del Estado de Moscú en Bauman.-** Los investigadores están desarrollando robots para aplicaciones de emergencia como incidentes nucleares y desarmado de bombas. Trabajan también en micro giroscopios y acelerómetros para dispositivos autónomos y vehículos aéreos no tripulados.
- **El Instituto de Radiotécnica, Electrónica y Automatización.-** Desarrolla técnicas innovadoras para la educación en mecatrónica y robótica dirigidas a sistemas de control autónomo para robots móviles.

¹⁴ Mechatronics in Russia: The story so far November 2006; Philip Moore Monfort University, UK



- **El Instituto para problemas en Mecánica.-** Dependiente de la Academia Estatal de Ciencias trabaja con otras instituciones robots que utilizan nanofibras para adherirse a paredes y techos. También se están explorando nuevos tipos de movimientos que permitan su operación en espacios difíciles.

En San Petersburgo se encuentran:

- **El Centro Científico Ruso para Robótica y Cibernética Técnica.-** Este centro desarrolla sistemas de robótica para el programa espacial ruso. El centro trabaja con la Universidad Politécnica del Estado de San Petersburgo para educar a las nuevas generaciones de ingenieros en robótica y mecatrónica.

Redes de Investigación y Sociedades Científicas en el mundo

- **EURON**

(<http://www.euron.org/>)

La European Robotics Research Network (EURON) es una red de excelencia Europea en el campo de la robótica que tiene como objetivo agrupar y coordinar esfuerzos a nivel europeo en el campo de la robótica en sus diferentes vertientes: investigación, enseñanza y educación, colaboración académica con la industria, publicaciones y conferencias. EURON además promueve un portal para la información en el campo de la robótica a investigadores, editores, diseñadores y entusiastas de dentro y fuera de Europa. En la actualidad EURON cuenta con más de 160 miembros en 22 países y es una de las redes de excelencia del sexto programa marco, financiada como parte del programa "Future and Emerging Technologies (FET): Beyond Robotics".

- **Climbing and Walking Robots Network (Clawar)**

(<http://www.clawar.com>)

Clawar es una red de investigación financiada por la Unión Europea cuyo objetivo investigar el estado de las tecnologías en Europa. El objetivo de Clawar es investigar y recopilar todos los aspectos de la tecnología y sistemas relacionados con los robots móviles.

Clawar organiza anualmente una conferencia internacional: "Internacional Conference CLAWAR" cuyos proceedings son publicados por Professional Engineering Publishing.

- **Internacional Foundation of Robotics Research IFRR**

(<http://www.ifrr.org/about.php>)

El objetivo del IFRR es el desarrollo de la robótica como un campo científico y establecer los fundamentos teóricos y tecnológicos para diferentes



aplicaciones con énfasis en el beneficio potencial para los humanos. La IFRR se creó formalmente en 1986 después de una serie de simposiums dedicados a la investigación en robótica.

- **IEEE Robotics and Automation Society RAS**

(<http://www.ncsu.edu/IEEE-RAS>)

El objetivo de esta sociedad es la difusión de la investigación teórica y aplicada en el campo de la robótica así como la automatización. Pertenece al “Institute of Electrical and Electronics Engineers” (IEEE).

- **The IEEE System Man and Cybernetics Society**

(<http://www.ieeesmc.org>)

El objetivo de esta sociedad es el desarrollo y la difusión de los sistemas de ingeniería incluyendo definición de problemas, modelado y simulación, métodos para la experimentación de sistemas, factores humanos en la ingeniería, diseño de sistemas y técnicas y métodos de evaluación.

Instituciones de apoyo a la mecatrónica en otros países

- ***Hannover Center of Mechatronics (Alemania).***

Este centro proporciona en su sitio información amplia e interesante de todos sus proyectos industriales e investigaciones, además de muchas aplicaciones que dan idea de las diversas áreas que engloba la Mecatrónica. Las áreas que se cultivan en este centro son principalmente: robots autónomos móviles, aplicaciones en ingeniería de la producción (robótica industrial), ingeniería automovilística y procesamiento en tiempo real.

- ***Institute of Mechatronics, Chemnitz University of Technology (Alemania).***

Un centro con un sitio también muy interesante por la amplia explicación que proporciona de algunos proyectos. Entre las áreas que se cultivan en este centro están: sistemas multicuerpo, procesamiento paralelo, simulación en tiempo real, control no lineal y modelado.

- ***Department of Mechatronics, Gerhard-Mercator-University Duisburg (Alemania).***

Otro centro alemán con un sitio con mucha información acerca de sus proyectos. La investigación que realiza se orienta hacia aplicaciones prácticas e industriales.



- ***Mechatronics program at the Johannes Kepler University of Linz (Austria).***

Además de información propia del sitio, se proporcionan allí enlaces a los centros de Mecatrónica más importantes del mundo. Se puede encontrar también información sobre conferencias.

- ***Institute of Robotics and Mechatronics, Wessling (Alemania).***

Proporciona información variada acerca de sus proyectos. Las áreas de investigación que se cultivan son: robótica, ingeniería de control, control robusto, sistemas multicuerpo.

- ***UNESCO Chair On Mechatronics and Mechatronics Research and Application Center (Turquía).***

Destaca en este sitio un interesante artículo sobre la mecatrónica. Este centro cultiva las áreas de sistemas inteligentes y mecatrónica, con aplicaciones principalmente en las áreas de robótica, (manipuladores y robots autónomos móviles) y sistemas no lineales.

- ***International centre for Mechatronics, Fachhochschule University of Applied Sciences (Alemania).***

El sitio de este centro proporciona una gran cantidad de enlaces a grupos de investigación en mecatrónica de todo el mundo y a algunas empresas dedicadas a la mecatrónica.

- ***CIACT Comisión Internacional Asesora de Ciencia y Tecnología***

Fue creada mediante decreto por el Presidente de la República Dominicana, con el objetivo de posicionar internacionalmente a dicho país como uno de los países latinoamericanos de gran incidencia en el desarrollo de temas científicos y tecnológicos.

- ***Asociación de Mecatrónica de Copenhague***

La Asociación provee servicios a las industrias e instituciones que trabajan con ingeniería de diseño, desarrollo de productos, producción y comercialización de productos y sistemas mecatrónicos.

- ***La asociación Mechatronics Design Association***

Es una asociación de estudiantes de la Universidad de Toronto fundada en noviembre del 2004.

Situación actual de la enseñanza en mecatrónica en el mundo¹⁵.-

a) **Norte América.-** En los últimos 20 años, varias universidades y centros de investigación de los Estados Unidos y Canadá han creado diferentes programas académicos relacionados con la mecatrónica como un medio para obtener un alto nivel de educación tecnológica.

El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), la asociación de ingenieros más grande del mundo, es la encargada de editar la Transición en Mecatrónica bajo la supervisión de la Sociedad de Robótica y Automatización y de universidades como Colorado State, Ohio, Iowa, Washington y MIT haciendo un importante esfuerzo para actualizar los tópicos acerca de la robótica y la mecatrónica como una estrategia para desarrollar nuevos métodos tecnológicos, productos y servicios. Existe una interacción relevante entre universidades, compañías privadas y gobierno en sus diferentes niveles para desarrollar y transferir tecnología para la creación de nuevos negocios. De acuerdo con Reed Business Information, se estima que los controles industriales, que son parte de la mecatrónica, crean un mercado global de 200,000 millones de dólares en sus dos sectores: control de procesos y controles de automatización¹⁶.

b) **América Latina.-** El primer programa académico en ingeniería mecatrónica fue hecho por la Universidad Anáhuac México Sur en 1992. Actualmente existen alrededor de 80 instituciones educativas que ofrecen estudios en mecatrónica en México. Hay diferentes programas de estudios, la mayoría de ellos están orientados a preparar técnicos con habilidades para diseñar e implementar nuevas ideas innovadoras para el mejoramiento de procesos industriales. La Asociación Mexicana de Mecatrónica fundada hace 10 años, contribuye a promover lo que la mecatrónica es e impulsa la creación de otras sociedades similares en Sudamérica como las asociaciones de mecatrónica del Perú y Chile. Existen programas académicos acerca de ingeniería mecatrónica en Perú, Chile, Argentina, Colombia, Costa Rica, Brasil, Ecuador y Cuba¹⁷.

La relación que existe generalmente entre universidades y empresas es extremadamente pobre. Hay algunos proyectos interesantes sobre automatización y robótica, pero se requiere una mayor interacción para lograr un impacto social y por consecuencia, beneficios para la sociedad.

El programa Iberoamericano de Desarrollo, Ciencia y Tecnología fundado en 1984 con la participación de 19 países de Sudamérica, España y Portugal, es un medio de relación internacional entre gobiernos y está orientado a la cooperación científica en Tecnologías de Información, seguida por las Tecnologías de Producción Industrial.

¹⁵ Teaching Mechatronics for new Business; Emilio Vargas UAM, 2008

¹⁶ Motion Control Association; Jennifer Hayman Robotic Industries Association feb. 2008

¹⁷ Noticias RIBAMEC, No. 1-10/2000 Dr. Roberto Frías; Laboratorio de Mecatrónica.

c) **Europa.-** Hace treinta años, en Europa no se tenía idea de la ingeniería mecatrónica. Sin embargo esto cambió desde que las principales universidades europeas consideraron la mecatrónica como una forma revolucionaria de diseñar y mejorar nuevos productos y de crear ideas innovadoras con alta tecnología como soporte. En los 90's se inició el proceso de enseñanza en ingeniería mecatrónica a través de La Asociación Danesa de Mecatrónica, el Grupo Mecatrónico de Finlandia, la Asociación Húngara de Mecatrónica y varios institutos de investigación de Italia, Inglaterra, Alemania y Suiza¹⁸.

Actualmente, existe una intensiva interacción entre los países europeos y las empresas privadas para desarrollar, con ideas creativas y originales, nuevos conceptos de productos que enriquezcan la vida humana. El Centro Europeo de Mecatrónica, el Centro de Investigación y Desarrollo de Mecatrónica y el Instituto de Tecnologías Industriales y Automatización son algunos de los ejemplos de institutos con excelente reputación internacional que realizan investigación basada en tecnología con una clara visión de poner en el mercado el resultado de sus proyectos.

La Unión Europea diseñó un proyecto educativo internacional denominado Eumecha – Pro el cual define un marco educativo que permita la formación de ingenieros mecatrónicos excelentes para las industrias manufactureras europeas. Analiza los requerimientos educativos en mecatrónica teniendo como resultado una visión europea de cómo mejorar los procesos educativos y hacerlos más coherentes a través de toda Europa¹⁹. Actualmente existen importantes programas educativos acerca de la mecatrónica en toda Europa, no solo a nivel graduado y post graduado, sino también a nivel de educación primaria y secundaria.

Las principales instituciones dedicadas a la investigación y desarrollo de la mecatrónica en la Unión Europea son:²⁰

- Inglaterra.- Loughborough University. Cuenta con el Grupo de Investigación en Mecatrónica dentro del Centro de Investigación en Mecatrónica Holywell (MRC) el cual ha sido pionero en actividades de diseño multi-disciplinario por varios años. La Universidad de Loughborough es una de las primeras universidades del Reino Unido que desarrolla la mecatrónica a través de programas de licenciatura, de maestría y de cursos cortos a la industria.

El MRC fue fundado en 2000 y cuenta con 15 investigadores a nivel posdoctorado y ha graduado alrededor de 30 estudiantes de doctorado, manteniendo una fuerte vinculación con el sector industrial en los proyectos de investigación.

- Alemania.- DLR Instituto de Robótica y Mecatrónica. Desarrolla proyectos de optimización integral y simulación 3D de sistemas y componentes mecatrónicos antes de su construcción. La investigación desarrollada en

¹⁸ Robert M, Parking Engineering Education for Mechatronics, IEEE Feb. 1996

¹⁹ European Mechatronics and Intelligent Manufacturing; Cris Decubber

²⁰ Eumecha pro. European mechatronics for a new generation of production systems, 2005



este instituto está basada en diseño virtual interdisciplinario, simulación y optimización asistida por computadora así como en la implementación de sistemas mecatrónicos complejos e interfase de maquinaria.

El Instituto de Robótica y Mecatrónica es reconocido como una de las instituciones líderes en el campo de la robótica a nivel mundial.

Fraunhofer Instituto de Ingeniería de Manufactura y Automatización. Su enfoque de investigación y desarrollo está encaminado a buscar soluciones a funciones organizacionales y tecnológicas de compañías relacionadas con el sector industrial. El objetivo de sus proyectos de investigación y desarrollo es identificar y explotar el potencial de automatización en las empresas con el objeto de fortalecer su competitividad internacional, creando nuevas oportunidades de empleo con procesos de producción más efectivos y amigables con el medio ambiente.

Sus principales áreas de investigación son:

- Manejo de Productos y Calidad – Innovación y tecnología; Productos integrados y desarrollo de procesos; Desarrollo de métodos y aplicaciones; Administración de la calidad; Reciclado de productos y control de la contaminación.
- Planeación de Plantas y Manejo de la Producción – Estrategia de localización y redes de producción; Diseño de productos y planeación de ensamble; Sistemas de producción y su optimización; Administración de mantenimiento y disponibilidad de planta; Métodos y herramientas.
- Logística Corporativa – Redes de logística; Logística de abastecimiento y distribución; Logística de producción; Parques industriales y centros de abasto.
- Sistemas de Robótica – Manejo y ensamble; Automatización del flujo de materiales; Procesamiento con robots industriales; robots de servicio; Desarrollo de productos mecatrónicos.
- Automatización de Producción y Procesos – Mecatrónica para ciencias de la vida y procesamiento de alimentos; Transmisión de señal y potencia; Tecnologías de información para procesos de producción; Construcción de equipo de medición.
- Tecnología Ultra Limpia y Micromanufactura – Procesos de producción; Equipos de producción; Servicios especiales de investigación y desarrollo.
- España.- Fatronik. Es un centro de investigación especializado en la generación de dispositivos inteligentes, que requieren de la integración de distintas tecnologías: mecánica, control, electrónica y tecnologías de la información; y de un profundo conocimiento de los procesos de fabricación.

La especialización tecnológica es el aspecto que imprime la personalidad del centro. Fatronik centra su especialización y conocimiento en las siguientes líneas, que configuran la oferta tecnológica del Centro:

- Diseño y desarrollo e producto
- Mecatrónica / Adaptrónica
- Cálculos y simulaciones avanzadas
- Puesta en servicio y análisis experimental
- Biomecánica
- Control avanzado y Automatización
- Ingeniería del Software
- Integración de sistemas de comunicación
- Integración de sensórica
- Inteligencia artificial
- Procesos de fabricación
- Monitorización de procesos de fabricación.

Fatronik cuenta actualmente con siete patentes industriales en el campo de robots manipuladores, seguidores solares y procesos de fabricación, teniendo cuatro nuevas patentes en proceso de aceptación.

d) **Asia.-** Una referencia obligada para conocer de la mecatrónica en Asia es Japón. Este país es considerado el líder en esa área por el impacto relevante de los artículos electrónicos japoneses en el mundo. La mecatrónica fue rápidamente incorporada como un componente importante de los productos y procesos modernos y se consideró la tecnología clave para ganar competitividad en el mercado global. En Japón, el gobierno ejerce una influencia importante para definir las áreas de investigación donde la robótica y la mecatrónica tienen impactos sociales relevantes, como la medicina, comunicación, rescate o entretenimiento. El gobierno japonés ha aprobado varias leyes para estimular la cooperación entre las universidades y la industria, así como para apoyar a los pequeños negocios.

El Ministerio de Industria y Comercio del Japón (MITI) inició un programa de garantías a pequeñas empresas bajo el programa “Foundation for Venture Business”. En China, Taiwan, Corea, Rusia Irán e Israel se han desarrollado programas similares que van acompañados de programas académicos orientados a mejorar el nivel del personal científico y educativo en mecatrónica e involucrando a gente joven con talento en la realización de investigaciones científicas en temas prioritarios.

e) **África.-** En África existen importantes universidades que enseñan programas de ingeniería. La Universidad del Cabo (UCT) en Sudáfrica, define la mecatrónica como un ramal interdisciplinario de la ingeniería que combina el estudio fundamental de la ingeniería mecánica con ingeniería eléctrica. En la industria, el ingeniero mecatrónico requiere experiencia en un amplio rango de disciplinas de ingeniería y debe estar bien posicionado en manufactura ligera y procesos de control. Están involucrados en campos como la instrumentación, automatización, robótica e ingeniería biomédica.

Las principales instituciones educativas que incluyen la mecatrónica dentro de sus planes de estudio son:



- Universidad del Cabo
 - Universidad de Tecnología Tswane
 - Universidad Metropolitana Nelson Mandela
 - Universidad de Johannesburgo
 - Universidad de Stellenbosch
- f) **Oceanía.**- La Escuela de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad de Sydney es la primer escuela que inició hace algunos años, la enseñanza de la mecatrónica. El programa académico fue establecido con el objetivo de responder a la expansión industrial ocurrida en la región oeste de Sydney, con personal altamente calificado. El principal objetivo de los cursos de ingeniería mecatrónica es educar ingenieros capaces de aplicar tecnologías mecánicas, electrónicas y de software para el diseño y manufactura de máquinas inteligentes. La Universidad Monash en Sydney tendrá disponible la maestría en ingeniería mecatrónica para finales del presente año. Las oportunidades para los ingenieros mecatrónicos son virtualmente ilimitadas; los graduados en esta área tienen una alta demanda, particularmente en la región sur este de Asia²¹.

²¹ Monash University, <http://www.monash.edu.au>, Feb. 2008



c. Impacto del uso de la mecatrónica sobre los costos de producción, respecto del uso de materiales o tecnologías tradicionales (información cuantitativa).

Actualmente las empresas cambian sus operaciones de manufactura a países que ofrecen alternativas más económicas en mano de obra para conservar la competitividad.

Sin embargo, muchas empresas están encontrando en la innovación y automatización una alternativa rentable y efectiva para reducir costos e incrementar su calidad.

China se ha convertido en una de las localidades “outsourcing” más fuertes, sin embargo a pesar de ofrecer costos menores, las empresas se enfrentan al problema de la calidad, al igual que en los demás países que ofrecen mano de obra barata.

Otros problemas serios son las fluctuaciones en el tipo de cambio, mayores tiempos de entrega, retrasos y la pérdida de control en el proceso de manufactura y en la propiedad intelectual, derivado de esto, otro gran problema es la falsificación, a Estados Unidos esto le cuesta \$3 mil millones de dólares anuales tan solo en la industria automotriz.

Un reporte del Grupo Consultivo de Boston indica que la calidad del producto a la entrega varía en algunas piezas hasta un 80%, mientras que dentro de los Estados Unidos solo tiene una variación del 5%.

De acuerdo al Grupo Consultivo de Boston tiene sentido realizar operaciones de outsourcing en productos que requieren una extensa mano de obra, sin embargo, para procesos automatizados, productos que requieran un solo proceso manual al final y los productos muy pesados donde los ahorros en mano de obra no compitan con los costos de flete es mejor mantener las operaciones en el país de origen y manejar la competitividad a través de la automatización.

Un ejemplo de esto es fue el exitoso resultado en la agricultura y la industria del acero de los Estados Unidos en el siglo pasado. En 1900, los trabajadores de la agricultura representaban un 38% de los empleados, ahora son solo el 2%, aún así en los Estados Unidos se produce la mayoría de la comida en el mundo. En el mismo sentido, el número de trabajadores empleados en la industria del acero disminuyó en 74%, de 289 mil a 74 mil, mientras que la producción se incrementó en 36%, de 75 millones a 102 millones de toneladas.

La mecatrónica en los procesos puede impactar directamente a la calidad y la eficiencia, pues favorece el control y mejora la viabilidad.



Uno de los factores más importantes en la consideración de trasladar las operaciones de una fábrica al otro lado del océano es el costo. Los siguientes ejemplos demuestran que la mecatrónica puede proveer a las compañías de los ahorros que están buscando sin realizar el “outsourcing”.

La compañía Lincoln Electric, es la líder en el diseño y manufactura de sistemas robotizados de soldadura y sistemas cortadores de plasma. Recientemente evaluó las opciones de mudar parte de su manufactura a China o automatizar sus procesos en la compañía en los Estados Unidos. La empresa determinó que el costo de las dos opciones era de de **\$0.30 USD** por pieza, comparados con los **\$0.84 USD** por pieza actuales utilizando el proceso manual. Sin embargo, aplicando la mecatrónica para mantener los procesos en al planta actual, se superaba la calidad, se mejoraba el control de procesos y se reducían significativamente los tiempos de entrega en comparación con China.

Además la automatización ayuda a las empresas a optimizar el layout de la planta, la utilización del espacio en piso. También eliminan los errores humanos y los accidentes en el manejo.

En otro caso Mennie’s Machina Company alcanzó sus metas de producción con un sistema totalmente automatizado. La empresa Mennie’s fabrica componentes para vehículos SUV’s. Los cuellos de botella que tenían en su proceso manual, el cual les permitía producir 80 piezas por hora les impedía alcanzar al meta de 118 piezas por hora.

Desde que se instaló el sistema automatizado, las tasas de desperdicio se disminuyeron y los tres turnos de operación de la planta están al 95% de operación, esto es un incremento de 15% sobre la operación manual anterior.

En general la empresa estima que la mecatrónica en sus procesos redujo los costos totales en un 25%. Entre las ventajas competitivas que la empresa obtuvo están la reducción en defectos de fabricación, incremento de la producción (120 piezas por hora), el margen de utilidad por pieza se incrementó y el sistema ofrece la flexibilidad de en un futuro incrementar la producción.

d. Intensidad en el uso de recursos humanos y remuneración promedio en relación con las demás actividades económicas.

La mecatrónica se ha involucrado en la industria y en la educación desde su definición en 1969, y es ahora reconocida alrededor del mundo.

A continuación se presenta un listado de los principales puestos que son ocupados por ingenieros mecatrónicos alrededor del mundo:

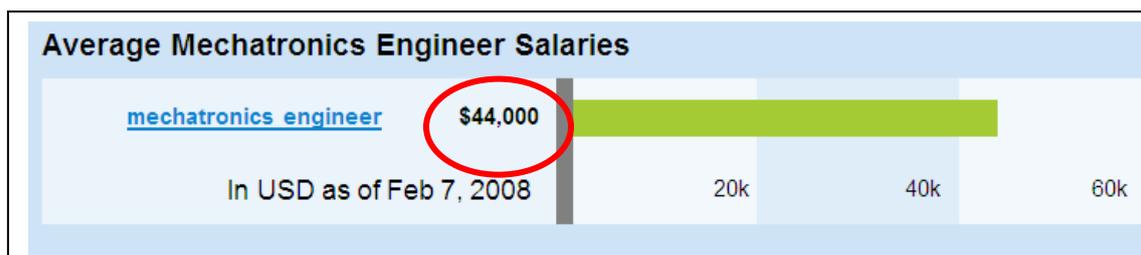
- Asistente Técnico Aeroespacial
- Profesional Asociado Técnico
- Ingeniero Eléctrico
- Ingeniero Mecánico
- Ingeniero Mecatrónico
- Administrador Técnico
- Ingeniero de Control de Procesos
- Ingeniero de Proyectos

En lo que se refiere a salarios, se encontró información únicamente de algunos países, el resto de los países incluyendo a Japón y Alemania no contaban con información de salarios para ingenieros en mecatrónica en la base de datos consultada, todos los datos provienen de una misma fuente por lo que son comparables entre sí.

País	Salario Anual USD
Nva Zelanda	\$33,223.00
Irlanda	\$40,305.00
Estados Unidos	\$44,000.00
Australia	\$47,300.00
Canadá	\$50,463.40
UK	\$65,224.00

Fuente: elaboración propia con información de The PayScale Report

La siguiente gráfica muestra un comparativo entre el salario de un ingeniero mecatrónico contra el promedio de los salarios de otras ingenierías.





Fuente: www.payscale.com

Estas cifras pudieran no parecer tan alentadoras cuando se comparan contra el salario de un ingeniero mecánico.

Salario Anual en Dólares Americanos de un Ingeniero Macánico por país	
Nueva Zelanda	\$36,273.00
Reino Unido	\$46,435.00
Irlanda	\$47,292.00
Canadá	\$49,715.00
Australia	\$54,273.00
Estados Unidos	\$54,755.00

Fuente: elaboración propia con información de *The PayScale Report*

Es por mucho superior al del Ingeniero Mecatrónico, y este comportamiento se puede explicar si se tienen en cuenta los siguientes factores:

- Aun en países desarrollados el trabajo de un ingeniero mecatrónico lo desempeña un ingeniero mecánico, pues las empresas no siempre distinguen la diferencia,
- La ingeniería Mecatrónica en la mayoría de los países se encuentra clasificada como una rama de la ingeniería de Mecánica,
- La ingeniería mecánica es más antigua y en la actualidad tiene las bases de la ingeniería mecatrónica, por lo que hay mas puestos de trabajo disponibles y tiene mejor aceptación entre los reclutadores de personal.

El número total de ingenieros empleados en los Estados Unidos en el 2004 fue de 1.4 millones, de los cuales 15.6% son ingenieros mecánicos (en este porcentaje se encuentran incluidos los ingenieros mecatrónicos). Los ingenieros civiles ocupan el primer lugar con un 16.4% del total. En el 2004, los empleos para ingenieros mecánicos crecieron en un 14%.



e. Tendencias tecnológicas para los próximos 10 años.

La imagen de una fábrica del futuro con cientos de robots funcionando a lo largo de toda 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.

El hecho es que de acuerdo a la experiencia de las grandes empresas que han invertido en alta tecnología, la gran ventaja de los procesos mecatrónicos no es la reducción en el costo del personal. Pues por lo regular los costos de mano de obra representan solo el 10% de los costos de producción, aún en las plantas no automatizadas.

La Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos en Estados Unidos, realizó una investigación y encontró que el 73% de las empresas mencionan como el principal obstáculo para la automatización la falta de conocimiento sobre la oferta tecnológica. El segundo obstáculo que ven las empresas es la falta de software disponible para la programación y la comunicación entre equipos sofisticados, esto a su vez representa un área de oportunidad. Esta investigación pronostica que otros países, entre ellos Japón superarán a los Estados Unidos en productividad en los próximos 10 años.

Debido a que la automatización es un proceso continuo con frecuentes mejoras en la tecnología, las empresas se ven en la necesidad de entrenar constantemente a sus empleados, por lo que será necesario contar con programas suficientemente actualizados para apoyar a las empresas en esta tarea.

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 aunque Estados Unidos va a ser superado por los demás.

Durante los últimos 30 años la automatización ha consistido en reemplazar únicamente los mecanismos mecánicos con sistemas mecánicos inteligentes. Actualmente la tendencia es que los procesos de manufactura en su conjunto se vuelvan cada vez más automatizados. Esta automatización reduce los trabajos “sucios y peligrosos” en la línea de producción²². Al mismo tiempo la necesidad de de técnicos más capacitados se está incrementando. Al reducir el número de personas poco capacitadas en las líneas de producción se reducen los errores los costosos incidentes en seguridad. Las plantas de producción que no se adapten al uso de la mecatrónica serán incapaces de competir.

²² Mecatrónica a Technology Forecast. Vanston, John H. Texas State Technical. 2007



En cuanto a tecnologías, la tendencia son los sistemas embebidos mas inteligentes, es decir, el incremento de los dispositivos de almacenamiento de memoria en menores tamaños, hacen que se puedan utilizar softwares mas complejos y capaces de ordenar mas funciones que se convierten en mejores desempeños para los sistemas que les obedecen, lo mismo sucede con el desempeño de procesadores, memoria, almacenamiento y ancho de banda. Por lo anterior, el avance de la tecnología se pronostica en este sentido, ya que los dispositivos mecánicos e inclusive los electrónicos han mejorado su desempeño pero no al nivel de los materiales utilizados para el almacenamiento de memoria y de la complejidad de los softwares de hoy día. En concreto el avance se dará en la parte de los mecanismos mecatrónicos que dice al resto que y como hacer las operaciones.



f. Operación de las empresas internacionales del sector de mecatrónica en el mercado global: distribución de operaciones entre los diferentes países y qué motiva esa distribución.

El desarrollo de la mecatrónica es una necesidad para las empresas manufactureras que reciben presiones tanto de su competencia como de sus clientes para incluir elementos de electrónica y software en sus productos. Ellas deben encontrar los medios para aplicar los cambios técnicos y de proceso haciendo labor de equipo entre sus ingenieros mecánicos, eléctricos y de software.

Entre Junio y Agosto de 2006, el grupo Aberdeen²³ examinó los procedimientos de manufactura, las experiencias e intenciones de más de 140 empresas a nivel mundial (75% de Norteamérica, 19% de Europa, Medio Este y África y 6% de Asia – Pacífico) dedicadas a aeroespacio y defensa, automotriz, productos electrónicos de consumo, manufactura de equipo industrial, transporte y telecomunicaciones con el objeto de determinar:

- El grado en el cual el desarrollo de la mecatrónica impacta las estrategias corporativas, las operaciones y los resultados financieros.
- La estructura y efectividad de los procedimientos de desarrollo de la mecatrónica.
- El uso actual y planeado de la tecnología para apoyar sus actividades.
- Los beneficios, si los hay, derivados del desarrollo de la mecatrónica.

El estudio trata de identificar las mejores prácticas para el desarrollo de la mecatrónica y de proveer un marco de referencia para medir las capacidades de las empresas para el desarrollo de sus productos. Las acciones principales recomendadas derivadas del resultado del estudio son:

- Adoptar medidas rigurosas en el proceso del desarrollo de nuevos productos para manejar conceptos de integración e implementar tecnologías avanzadas de manejo de información.
- Desechar los procesos de diseño de disciplinas específicas que no sean integrados. Esto apoya la coordinación de los grupos de ingeniería de diversas disciplinas.
- Hacer mediciones frecuentes del avance en el desarrollo de los nuevos productos para cumplir con las metas de calidad y tiempo de entrada al mercado.

Como resultado del estudio, se determinó que de las empresas de tecnología media, el 54% utiliza la mecatrónica en todos ó en la mayoría de sus productos, el 38% en algunos y sólo el 8% no integra la mecatrónica en sus productos.

²³ Aberdeen Group; The Mechatronics System Design Benchmark Report, 2006



Desde el punto de vista de las aplicaciones de la mecatrónica, nos referiremos más específicamente a los elementos mecatrónicos ya que éstos son los productos tangibles resultado de la implementación de las distintas tecnologías involucradas con la mecatrónica.

A continuación se presenta una descripción de las principales empresas a nivel mundial que dentro de sus ramas industriales desarrollan y utilizan sistemas mecatrónicos. Utilizaremos la clasificación de las "Fortune Global 500" para seleccionar las empresas más representativas.

Siemens.- Empresa alemana situada en la posición 28 del ranking mundial con ventas de más de 107,000 millones de dólares que proporciona empleos a más de 475,000 personas en todas sus operaciones. Cuenta con más de 48,000 empleados en las áreas de investigación y desarrollo en 150 establecimientos a través de todo el mundo, de los cuales el 43% se ubica en Alemania, el 28% en Europa, el 17% en América y el 12% en la región Asia-Pacífico.

A continuación se describen algunas características de las operaciones más representativas que tiene Siemens en distintos países:

- **Brasil.-** Es la compañía más grande del país en el ramo de ingeniería eléctrica y electrónica. Sus operaciones están dirigidas a tres campos de aplicación: Energía y Protección del Medio Ambiente, Automatización y Control y Cuidado de la Salud. Proporciona empleo a 10,471 personas y cuenta con nueve centros de investigación y desarrollo, trece plantas manufactureras y doce oficinas de servicio a lo largo de todo el país.
- **Estados Unidos.-** En 2007, obtuvo ventas en los Estados Unidos por 14,800 millones de euros, dando ocupación a 65,821 personas y mantiene una posición líder en tres campos de aplicación: Energía y Protección del Medio Ambiente, Automatización y Control y Cuidado de la Salud.
- **Sudáfrica.-** En Johannesburgo atiende los mismos campos de aplicación teniendo ventas por más de 900 millones de euros y dando empleo alrededor de 2,000 personas.
- **Alemania.-** La empresa fue establecida en Alemania hace ciento sesenta años. En 2007 obtuvo ventas por 12,600 millones de euros y cuenta con una planta laboral de alrededor de 126,000 empleados, de los cuales aproximadamente 21,000 personas se dedican a la investigación y desarrollo, contando hasta la fecha con alrededor de 62,000 patentes. Los campos de aplicación en Alemania se concentran en: Energía y Protección del Medio Ambiente, Cuidado de la Salud, Automatización y Control y Tecnologías de Información.
- **Otras regiones.-** Siemens cuenta adicionalmente con centros de operación localizados en Saudi Arabia, China y Australia.

Samsung Electronics.- Empresa establecida en Corea del Sur se ubica en la posición 46 del ranking mundial con ventas en 2007 por 103,400 millones de dólares da empleo a más de 138,000 trabajadores. Es la compañía más grande del sector electrónico y de tecnologías de información y junto con Siemens de



Alemania y Hewlett-Packard de Estados Unidos, ocupan los primeros tres sitios a nivel mundial en fabricación de aparatos eléctricos e industria electrónica.

Samsung cuenta con el Centro de Tecnología de Mecatrónica y Manufactura como centro de innovación e investigación de tecnologías avanzadas. Las principales áreas de investigación y tecnología del centro son:

- **Innovación de Manufactura**

- (1) Sistemas de automatización

- Sistemas de manejo de materiales, diseño y control industrial de robots, optimización de flujo de materiales.

- (2) Software de manufactura:

- Software de control de equipo de proceso, aplicaciones de tecnología de redes.

- (3) Ingeniería industrial

- Diseño de fábrica y programación de producción, simulación y análisis de línea.

- **Tecnologías Fundamentales**

- (1) Moldeado

- Diseño de moldes de precisión y ópticos.

- (2) Ensamble y unión de circuitos

- Ensamble de tablillas de circuitos en 3D.

- (3) Control

- Diseño de hardware para motores, control sin sensores.

- (4) Ingeniería asistida por computadora

- Simulación de procesos, diseño de precisión.

- **Tecnologías de Elaboración de Equipo**

- (1) Fabricación

- Aplicaciones de plasma, reacción química para la optimización de procesos, diseño de alto vacío.

- (2) Pruebas y medición

- Inspección de la superficie óptica, inspección no destructiva con rayos X y ondas ultrasónicas.

- (3) Ensamble de precisión

- Control de fuerza, control térmico, tecnologías de precisión.

- (4) Etapa de ultra precisión



- Ensamble de precisión, control de posición de compensación de errores.
- **Tecnologías Futuras**
 - (1) Robots de servicio
 - (2) Robots humanoides
- **Oficina de estrategia de propiedad intelectual**

Esta unidad supervisa la propiedad intelectual (estrategias de patente e innovaciones, disputas por patentes importantes) con el propósito de hacer de SAMSUNG Electronics uno de los mejores administradores de patentes en el mundo.
- **Estrategias de propiedad intelectual**
 - (1) Establecer estrategias para adquisición y uso de patentes.
 - (2) Contratar y entrenar especialistas en patentes.
 - (3) Construir y operar infraestructura de propiedad intelectual.
 - (4) Adquirir patentes para tecnologías medulares.
- **Ley de Propiedad Intelectual**
 - (1) Manejar litigios de la propiedad intelectual dentro y fuera de Corea.
 - (2) Negociar licencias de tecnología a nombre de la compañía.
 - (3) Administrar marcas registradas y la identidad corporativa.

Fanuc Ltd.- Empresa japonesa líder en el desarrollo de máquinas de control numérico y robots industriales con ventas superiores a los 3,500 millones de dólares en el ejercicio fiscal de 2007 y con tasas de crecimiento en este rubro superiores al 13% anual en los últimos tres años²⁴.

En el área de investigación y desarrollo, un tercio de los empleados de Fanuc realizan esta función y cuenta con 13 laboratorios dedicados a:

- Investigación básica
- I y D de software
- Servomotores
- CNC
- Laser
- I y D de robótica
- Roboshot
- Robocut
- Robodrill
- Tecnología de manufactura.

²⁴ Fanuc Annual Report 2007, Nov. 16, 2007



Fanuc dispone de una red de 160 compañías que brindan servicio a sus productos distribuidas en Europa, Asia, África y América. En 1992 estableció en China la “Beijing – Fanuc Mechatronics Co.”, empresa dedicada a la fabricación, venta y servicio de máquinas de control numérico para el creciente mercado chino.

ABB.- Empresa establecida en Suiza se ubica en la posición 273 del ranking mundial con ventas en 2007 por 24,883 millones de dólares dando empleo a más de 108,200 trabajadores. Cuenta con 9 centros de investigación y desarrollo ubicados en China, Alemania, Polonia, Suiza, India, Suecia y los Estados Unidos, donde laboran más de 6,000 científicos. Los centros ubicados en China y Suecia cuentan, entre otros, con laboratorios de Mecatrónica y robótica, enfocados a la programación y desarrollo de robots, mientras que en India se desarrolla el software para robótica.

El programa MRA (Mechatronics and Robotics Automation) de ABB desarrolla la generación actual de robots encontrando opciones para la reducción significativa de costo y un mayor desempeño para la amplia gama de aplicaciones. El programa también soporta el negocio de los robots para la industria automotriz desarrollando líneas de producción más robotizadas y eficientes en costo de operación.

Respecto a la preparación de estudiantes en mecatrónica, ABB desarrolla un programa en el Fachhochschule Technikum en Viena a través de diez cursos en los cuales participan 1,400 estudiantes provenientes de Alemania, Turquía, Ucrania y Bolivia. Una vez concluido el programa, los estudiantes reciben el título de Ingenieros Certificados en Mecatrónica y Robótica.

Komatsu.- Fundada en 1921, Komatsu es el principal fabricante japonés de equipo pesado de construcción, maquinaria industrial, electrónica y otros productos. Normalmente, Komatsu contrata sus ingenieros con grado de maestría y mantiene relación con universidades como Stanford University y Imperial College para la selección y actualización de sus ingenieros.

El esfuerzo de Komatsu en investigación y desarrollo lo lleva a cabo en su Centro de Investigación y en los departamentos de investigación y desarrollo de sus divisiones de equipo de construcción, electrónica, ingeniería entre otras. Cuenta dentro de su plantilla laboral con cerca de 2,000 ingenieros y técnicos de diversas especialidades.

El gasto en investigación y desarrollo para 2007 se estima en alrededor de 150 millones de dólares y ha representado en los últimos años alrededor del 3% de sus ventas, estando dirigido principalmente a su división de equipo de construcción la cual absorbe más del 80% del gasto total en esta materia.²⁵

Festo AG & Co.- Empresa fundada en Alemania en 1925 dedicada a la fabricación de equipo neumático de automatización y control, cuenta con más

²⁵ Komatsu.com/CompanyInfo/profile 2007



de 12,000 empleados a nivel mundial y factura alrededor de 1,500 millones de euros anualmente. Está compuesta por 56 compañías independientes con más de 250 delegaciones en 39 países.

Festo dedica el 7.5% de su facturación a inversión en investigación y desarrollo y 1.5% a la formación y perfeccionamiento profesional de sus empleados en sus compañías establecidas en Europa, Asia y América. Cuenta con 2,800 patentes en el mundo y anualmente emite aproximadamente 100 solicitudes de nuevas patentes.

Su programa de entrenamiento en mecatrónica MCT (Mechatronic Competence Training) está estructurado por módulos y segmentos basados en estándares determinados por la industria. El sistema de evaluación está diseñado para asegurar que cada participante ha adquirido las habilidades, conocimiento y actitudes requeridas por cada módulo. Adicionalmente, Festo ofrece programas de entrenamiento y consultoría sobre mecatrónica a través de la mayor parte de sus empresas a nivel mundial. En México ofrece un Diplomado en Mecatrónica dirigido a la automatización de procesos de producción con grado de complejidad medio y con una duración de 96 horas²⁶.

Principales sectores industriales con aplicaciones de la mecatrónica.-

En el ámbito internacional, varios sectores industriales han experimentado una creciente relación con los sistemas mecatrónicos donde la electrónica y el software han sido incorporados en los sistemas mecánicos tradicionales. Los cambios importantes en la ingeniería mecatrónica provienen en la mayoría de los casos, del manejo de proyectos multidisciplinarios que requieren de una alta coordinación e integración tanto en materia técnica como organizacional.

A continuación se presentan tres de los sectores industriales donde la mecatrónica ha tenido un desarrollo más significativo tanto en la automatización de procesos, como en la creación de nuevos productos.

- **Industria Automotriz.-** Los vehículos automotores han venido evolucionando a través de los años y ahora la mayoría de ellos tienen incorporados controles automáticos computarizados en la mecánica automotriz. Este tipo de sistemas es un buen ejemplo de la aplicación de los sistemas mecatrónicos y sobresalen por la complejidad de su operación, consistiendo un gran número de sensores y actuadores que son controlados por un software computarizado²⁷.

Los tipos de sistemas encontrados en la industria automotriz, son complejos y requieren de largos tiempos de desarrollo. Adicionalmente, para proporcionar el control deseado, los sistemas a ser utilizados deben cumplir con los requerimientos de legislación y seguridad definidos tanto

²⁶ www.festo.com

²⁷ International Journal of Electrical Engineering Education. Peter James, oct.2004



por el fabricante del vehículo como por los países en donde será comercializado.

El propósito de agregar esta complejidad al diseño y manufactura de los vehículos es mejorar su desempeño con las mejoras requeridas por el usuario final. Adicionalmente, dependiendo de los requerimientos del sistema, algunas de estas mejoras pueden ser consideradas como simples, pero involucran una serie de problemas mecánicos, eléctricos y de control que permitan un análisis de fallas integral. El cambio hacia sistemas electrónicos integrados responde tanto a requerimientos legislativos y de seguridad como control de emisiones, frenos ABS, bolsas de aire, etc., como a demandas de nuevas características por los consumidores como asientos con calefacción, control de clima, etc.

Los avances en los sistemas de control automotriz incrementan la necesidad de ingenieros altamente calificados capaces de diseñar estos sistemas de control, reduciendo el tiempo para desarrollar y probar estos nuevos sistemas. Con el incremento continuo en la complejidad de los vehículos automotores, se incrementa la necesidad de ingenieros multidisciplinarios que tengan una educación adecuada.

El uso de la electrónica en los sistemas automotrices ha cambiado radicalmente en los últimos 25 años. En el pasado, el sistema eléctrico de los vehículos consistía básicamente en tecnologías de alambrado que suministraban potencia a distintos circuitos a través de interruptores, cables y relays. Actualmente se requiere de la electrónica para implementar toda una gama de operaciones de sensores y actuadores que cumplen con diferentes funciones, incluyendo funciones del sistema de control automático.

Estos sistemas mecatrónicos han cobrado gran importancia para los fabricantes de vehículos automotores y han cambiado la manera de cómo se diseñan los automóviles. Esto significa que el rol de los ingenieros eléctricos automotrices ha cambiado significativamente: hace 20 años, eran solamente ingenieros eléctricos, hace 10 años, necesitaban habilidades en electrónica y actualmente y en el futuro, necesitarán conocimientos de sistemas mecánicos y del control de dichos sistemas.

El aspecto de costos es un tema fundamental en las decisiones de diseño de los sistemas automotrices. Con el objeto de disminuir los costos de estos sistemas, actualmente se integran unos con otros, compartiendo señales de entrada y salida, como por ejemplo, el sistema de Estabilidad Electrónica (ESP) se ha integrado con el sistema de frenado anti bloqueo (ABS). Esto incrementa la complejidad del diseño de los sistemas de control y obliga a los diseñadores a utilizar técnicas de simulación para validar las nuevas ideas antes de elaborar prototipos e iniciar la manufactura. Los modelos de simulación necesitan tomar en cuenta todas las eventualidades y resolverlas satisfactoriamente. Todo esto se requiere sea realizado sin costo extra en la fabricación del vehículo.

El valor de los componentes electrónicos, eléctricos y mecatrónicos en un automóvil alcanza el día de hoy entre el 20 y el 25% del precio total del vehículo, con la tendencia de alcanzar entre el 30 y el 35% para el 2010. De acuerdo con los fabricantes de automóviles, cerca del 90% de las innovaciones en los automóviles son relacionadas con la electrónica y la mecatrónica²⁸.

En el pasado, los fabricantes de automóviles empleaban tanto a ingenieros mecánicos como a ingenieros electrónicos, cada uno con sus propias capacidades bien definidas. Estos ingenieros trabajaban juntos pero en pocas ocasiones se involucraban en las actividades propias del otro. Como se ha mencionado, los requerimientos de los sistemas modernos de los vehículos incrementan la necesidad de ingenieros multidisciplinarios que tengan un conocimiento profundo tanto de los sistemas mecánicos como electrónicos. Esto es, los ingenieros mecatrónicos.

El ingeniero mecatrónico es la solución ideal para resolver los retos planteados para la industria automotriz, pero actualmente existe una baja disponibilidad de este tipo de especialistas. Esto es debido principalmente a los escasos cursos y pocos estudiantes que se interesan por esta disciplina. Los cursos de mecatrónica necesitan ser comercializados de diferente manera, haciéndolos más atractivos y logrando que los estudiantes vean las ventajas que esta opción les representa conociendo la dificultad que los fabricantes automotrices tienen para encontrar este tipo de ingenieros.

- **Industria Médica.-** Las tecnologías de vanguardia en robótica proveen las herramientas necesarias para los instrumentos remotos²⁹. Esto es particularmente cierto en aplicaciones nucleares donde las operaciones remotas son necesarias debido al ambiente peligroso donde se desarrollan. También es cierto en aplicaciones de intervenciones quirúrgicas, principalmente cuando no se puede acceder a los órganos directamente. Durante los procedimientos de cirugía, el cirujano debe tener la habilidad de manejar directamente los instrumentos de cirugía interactuando con el paciente. Ambas aplicaciones enfatizan el mismo tipo de necesidades de equipos de alto desempeño con componentes mecatrónicos. Se esperan mayores beneficios de los resultados de la investigación y desarrollo en el campo de la mecatrónica para telerobótica que proporcionen una buena base para mejorar la tecnología médica.

Los usos más comunes de las tecnologías de robótica pertenecen a aplicaciones automotrices y de líneas de producción, donde los robots ejecutan principalmente tareas continuas preprogramadas. Cuando se habla de telerobótica, hay dos aspectos fundamentales que difieren:

²⁸ Rolf Isermann; Mechatronic systems – Innovative products with embedded control. 2007

²⁹ Force Feedback Mechatronics in Medicine, Healthcare and Rehabilitation. IMechE Seminar 2003

- La persona está en el círculo de control del robot e interactúa en tiempo real. Las tareas no son preprogramadas.
- Se requiere de dispositivos de retroalimentación para operar de manera remota e interactiva.

En telerobótica, la función principal de los dispositivos de retroalimentación es simular la conducta mecánica de la herramienta. Esto es también aplicable a las cirugías endoscópicas, en particular en la “Minimally Invasive Surgery” (MIS) la cual ha cambiado profundamente la práctica de la cirugía desde hace 10 años³⁰.

Los dispositivos activos, como el “Dispositivo de asistencia inteligente” o los robots colaborativos conocidos como Cobots cuentan con asistencia de fuerza activa, guías de movimiento y control avanzado de interacción donde el usuario y el sistema de robótica comparten el control por medio de mecanismos virtuales. Cuando se requiere de asistencia física para mejorar el desempeño humano, los robots pueden apoyar directamente las operaciones para posicionar adecuadamente las herramientas de cirugía protegiendo regiones vitales.

Cuando se habla de interacción física de personas y robots, la primer referencia viene de las aplicaciones de telerobótica en campos como la exploración nuclear, marina o planetaria. Las características de la telerobótica inducen la capacidad de los sistemas de robots a interactuar permanentemente con el usuario. En este caso, el ambiente del robot no es conocido plenamente ni estructurado, sus intervenciones no pueden ser automáticamente ejecutadas y la tarea es llevada a cabo por el usuario a través del robot. Se han desarrollado técnicas avanzadas y nuevas tecnologías para incrementar la capacidad de superar las limitaciones de las condiciones remotas, tomando en cuenta que el desempeño global de los sistemas en robótica vienen de una combinación del desempeño individual de sus componentes y de sus mecanismos de integración combinando la mecánica, la electrónica y el software.

- c) **Industria de Celdas de Combustible.**- Aunque este segmento no se considera propiamente como un agrupamiento industrial, la generación de energía a partir de celdas de combustible tiene un sinnúmero de aplicaciones en diversos agrupamientos industriales (automotriz, maquinaria y equipo, artículos del hogar, etc.) y requiere de la integración de subsistemas químicos, de fluidos, térmicos, eléctricos y electrónicos para su operación. Esta integración presenta una serie de oportunidades en el campo de la mecatrónica³¹.

Los principios de las celdas de combustible datan de los 1800's (Schoenbein, 1839). Sin embargo sólo recientemente han sido consideradas como una alternativa promisoría para los motores de

³⁰ J-P Friconneau; Force feedback master arms, from telerobotics to robotics surgery training, 2002

³¹ Mechatronics in fuel cell systems. Anna G. Stefanopoulou. ScienceDirect 2006



combustión interna con aplicaciones automotrices, marinas y de aeroespacio, así como para la generación de energía.

Las celdas de combustible son altamente eficientes debido a que su principio de operación depende de la electroquímica en lugar de la combustión. Los mayores retos que enfrentan actualmente las celdas de combustible para posicionarse, incluyen el desarrollo de membranas de baja resistencia, electrodos de alta capacidad de difusión y el uso reducido de catalizadores de metales nobles. Por otra parte, los motores eléctricos y electrónicos pueden ya utilizar y distribuir la electricidad generada a través de celdas de combustible. Todos estos avances requieren de demostraciones experimentales que incluyen la aplicación de conceptos mecatrónicos para permitir que las celdas de combustible se muevan de los laboratorios a las calles impulsando automóviles o calentando y enfriando nuestras habitaciones.

- g. Políticas públicas implementadas en los países que han tenido éxito en el desarrollo de la mecatrónica, así como las aplicadas en los países emergentes.**

Estados Unidos

Las políticas públicas en este país en materia de propiedad intelectual promueven y motivan la modificación constante de patentes y modelos de utilidad, ya que en el sector académico público y privado existe la posibilidad de que los inventores sean partícipes en el usufructo de la explotación de la propiedad intelectual derivada, a través de la legislación correspondiente federal y las posibles aplicaciones en la materia que se den en cada Estado de la Unión.

Aunque no se conoce un instrumento gubernamental específico para incentivar el uso de la mecatrónica un indicador clave en este sentido es el nivel de financiamiento a la investigación para proyectos relacionados con este campo, ya que mientras que en 1995 la Fundación Nacional de Ciencia (NSF) apoyó solamente 2 proyectos relacionados con esta disciplina por un monto de 122,350 dólares, para 2004 esta misma institución apoyó 25 proyectos por un valor de 929,008 dólares, como se había mencionado en párrafos anteriores.

En 2007 se presentó al Congreso Estadounidense una iniciativa que contempló aspectos que promovieran de manera general proyectos de mecatrónica:

- Crédito Permanente de Impuestos a la Investigación y Desarrollo buscando.- Mejorar y extender permanentemente el crédito federal de impuestos a las empresas que realizan investigación y desarrollo.
- Reforma a la Propiedad Intelectual.- El fortalecimiento a la protección de la propiedad intelectual es crítica para lograr el avance tecnológico que permita sobrevivir a los Estados Unidos en la competencia global de productos y servicios basados en nuevas tecnologías.
- Competitividad e Innovación.- Apoyo decidido a la Iniciativa Americana de Competitividad (ACI) 2006 y a otras propuestas del Congreso orientadas a fomentar la inversión en ciencia básica, incrementar el talento en ciencia y tecnología y desarrollo de infraestructura de innovación.
- Apoyo Económico a la Investigación y Desarrollo Federal.- Apoyar el financiamiento a universidades norteamericanas para programas de ingeniería y ciencias que son vitales para mantener el liderazgo competitivo del país.
- Expansión de Tratados Internacionales.- Apoyar esfuerzos para mantener a la expansión de tratados internacionales como una prioridad económica. Esto incluye la negociación y la aprobación del Congreso de acuerdos bilaterales y regionales dentro de la Organización Mundial de Comercio (WTO).



Europa

La Comunidad Europea en su conjunto apoya financieramente a la red EURON a través del 6º Programa Marco, lo que implica una política de apoyo a redes establecidas donde confluyen expertos en el tema, lo que propicia el intercambio de conocimiento y la búsqueda de nuevas fronteras en el estado del arte a través de proyectos de Investigación y Desarrollo.

Muestra de lo anterior es la Iniciativa de Investigación Avanzada en Microelectrónica ESPIRIT y la BRITE/EURAM con proyectos en ciencia de materiales las cuales contemplan el desarrollo de MEM'S.

Al igual que en los Estados Unidos existe como política pública reglamentada la posibilidad de que los desarrolladores de patentes y modelos de utilidad tengan la posibilidad de obtener usufructo de la explotación de las mismas.

Japón

En este país donde se acuñó el término mecatrónica como tal, actualmente no se cuentan con políticas públicas específicas para promover el uso de herramientas y/o elementos mecatrónicos, sin embargo, se obtuvo información de apoyo gubernamental a concursos en universidades sobre robótica y automatización que en nuestros días continúan con apoyo de las propias universidades.

Otros Países

La mayor parte de los países emergentes cuentan con políticas orientadas al desarrollo de distintas ramas de la ciencia y la tecnología, sin embargo no se detectaron políticas públicas especialmente dirigidas al desarrollo de la mecatrónica. Algunos de ellos promueven la educación tecnológica en esta materia, pero no se detectaron criterios que vincularan estos esfuerzos con las necesidades de los sectores industriales ni con las políticas gubernamentales dirigidas al crecimiento económico.



h. Implicaciones en materia de regulación relacionadas con la mecatrónica.

En este punto no se observaron implicaciones reglamentarias o de regulación relacionadas directamente con la mecatrónica a excepción de algunas relacionadas con experimentos en seres humanos, particularmente en implantes biónicos o bio-mecatrónicos hasta que a satisfacción de agencias reguladoras como la FDA de Estados Unidos se haya comprobado en animales de laboratorio la compatibilidad de estos sistemas.

El mismo tratamiento se ubicó en las aplicaciones futuras de MEM'S y NEM'S cuando se requiriera de éstos como apoyo en el mejoramiento de la salud humana.

i. Mecanismos de fondeo internacional para el desarrollo de la mecatrónica.

EUMECHAPRO:

Existen oportunidades de colaboración Internacional a través del Programa de la Unión Europea, el cual busca fomentar el desarrollo tecnológico de los países miembros de la Unión. A través de este mecanismo se han desarrollado mapas estratégicos para el sector industrial y para el campo de la investigación y desarrollo tecnológico:

- Para el sector industrial, los mapas proveen una visión estructurada de las expectativas industriales a futuro y han sido establecidos para diversos sectores productivos.
- Las tecnologías emergentes y los planteamientos de diseño integrado están asociados con los requerimientos de la industria y muestran nuevas oportunidades de negocios industriales.
- Por otra parte, los objetivos industriales orientan las actividades de investigación y desarrollo hacia las necesidades del mercado.
- Los mapas de investigación y desarrollo proveen un marco común para coordinar eficientemente los recursos europeos dedicados a esta materia.

A través de Eumecha – Pro, se mejora la coordinación de diversos mecanismos de financiamiento para la investigación y desarrollo de la mecatrónica, en particular soportando proyectos dentro de la plataforma “Eureka Factory” y la iniciativa “Manufuture” de la Comisión Europea, donde la industria, en colaboración con instituciones de financiamiento nacionales,



apoya proyectos estratégicos que permitan lograr y/o mantener el liderazgo europeo en diversos sectores de la mecatrónica³².

PROGRAMA IBEROAMERICANO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA PARA EL DESARROLLO (CYTED):

Es un programa de cooperación referente en Ciencia y Tecnología de la Región Iberoamericana Orientado al desarrollo.

Es un programa que fomenta la cooperación en distintos campos, desde la investigación básica hasta el desarrollo tecnológico y la innovación.

Importancia de CYTED en Iberoamérica

- Complementa las funciones de los Sistemas de Ciencia y Tecnología nacionales de la Región Iberoamericana
- Permite la transferencia de información, resultados y tecnologías entre los distintos países iberoamericanos.
- Disminuye la “brecha” en Ciencia y Tecnología entre los países de la Región iberoamericana.
- Disminuye la “brecha” en Ciencia y Tecnología entre los países de la Región iberoamericana.
- Modernización productiva y aumento de la competitividad, mejorando la calidad de vida.

Instrumentos: Redes Temáticas

Objetivo:

Situar y mantener a la Comunidad Iberoamericana en posiciones relevantes en diversas temáticas dentro del ámbito de la Ciencia y la tecnología.

- Transferencia de conocimientos.
- Intercambios de experiencias,
- Tratan temas prioritarios de interés común.
- Realizan moviidades y actividades de formación.
- Participan grupos de investigación y empresas de al menos 6 países y la duración máxima es de 4 años.
- El Programa CYTED financia las acciones de cooperación entre los integrantes de la Red (reuniones, viajes, difusión, etc.)
- Ej.: Red Iberoamericana sobre indicadores de Ciencia y Tecnología.

Instrumentos: Acciones de Coordinación de Proyectos de Investigación

³² www.eumecha-pro.org/fp6.about.htm



Objetivo:

Transferencia de resultados de Proyectos de Investigación a los sistemas productivos de los países participantes.

- Clara orientación a la Investigación aplicada.
- El Programa CYTED financia las acciones de cooperación entre los integrantes de la Acción (reuniones, viajes, difusión, etc.)
- Participan grupos de investigación y empresas de al menos 6 países y la duración máxima es de 4 años.
- Búsqueda de posibles sinergias con proyectos de investigación nacionales.
- Ej.: Telemedicina rural para la salud materno-infantil.

Instrumentos: Proyectos de Investigación Consorciados

Objetivo:

Obtener o mejorar un producto, proceso o servicio que contribuya de forma directa al desarrollo de la Región Iberoamericana.

- Grandes proyectos de Investigación y Desarrollo Tecnológico realizados entre varios socios iberoamericanos formando un Consorcio.
- Participan grupos de investigación y empresas de al menos 4 países y la duración máxima es de 4 años.
- Dotación de financiación para la investigación y no únicamente para la coordinación de actuaciones.
- Ej.: Desarrollo de sistemas ultrasónicos y computacionales para diagnóstico cardiovascular.

Instrumentos: Proyectos de Innovación IBEROEKA

Objetivo:

Desarrollo de nuevos productos, procesos y servicios orientados al mercado.

- Proyectos innovadores desarrollados conjuntamente entre empresas y organismos públicos y privados de I+D de los países miembros del Programa.
- Incrementan la productividad y competitividad de las industrias y economías nacionales.
- Financiación descentralizada:
- Cada país asume la financiación de sus participantes mediante sus propios mecanismos nacionales disponibles.
- Proyectos generados de abajo hacia arriba (desde las propias empresas).
- Participación de al menos 2 entidades (al menos una debe ser empresa)
- Ej.: Sistema de diagnóstico rápido con marcadores cardíacos



Financiamiento del Programa

- Aportaciones anuales realizadas por los 21 países miembros a través de sus respectivos Organismos Nacionales de Ciencia y Tecnología (ONCYT).
- El Gobierno Español garantiza una aportación no menor del 50% del total del presupuesto.
- Participación de la Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI)
- Actividades de formación (Jornadas CYTED)
- Acciones Regionales Estratégicas (AREs).
- Presupuesto anual del Programa: Alrededor de 5 millones de EUR.

El CYTED es un programa internacional de cooperación científica y tecnológica multilateral entre 19 países iberoamericanos con casi 20 años de existencia que ha logrado generar 76 redes temáticas, 95 proyectos de investigación y 166 proyectos de innovación en el que han participado más de 10 mil científicos y tecnólogos. El programa otorga apoyo financiero a proyectos con un impacto sustancial en el desarrollo de la región cuyos resultados sean trasladados a los sistemas productivos y políticas sociales.

Como ejemplo en México, el ITESM obtuvo un fondo internacional de movilidad para el proyecto “Automatización de los Procesos de Mecanizado de Alto Rendimiento (PIBAMAR)” por parte del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED). El proyecto PIBAMAR (2003-2007) recibió un fondo de \$240 mil USD y será desarrollado entre 16 instituciones de países tales como Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, España, Perú, Portugal, Venezuela y México, donde el coordinador es el profesor investigador Dr. Ciro A. Rodríguez, quien trabajará en conjunto con los estudiantes de Ingeniería, de las maestrías en Manufactura, Automatización y Mecatrónica del Campus Monterrey. El coordinador general del proyecto es el Dr. Marcelo Teixeira dos Santos del Instituto Superior de Tecnología de Brasil.



II. La mecatrónica en el contexto nacional

a. Diagnóstico tecnológico sobre la situación actual de la mecatrónica en México.

La mecatrónica no es una nueva rama de la ingeniería, es un concepto recientemente desarrollado que enfatiza la necesidad de integración y de una interacción intensiva entre diferentes áreas de la ingeniería.

Un sistema mecatrónico típico recoge señales, las procesa y, como salida, genera fuerzas y movimientos. Los sistemas mecánicos son entonces extendidos e integrados con sensores, microprocesadores y controladores. Los robots, las máquinas controladas digitalmente, los vehículos guiados automáticamente, las cámaras electrónicas, las máquinas de telefax y las fotocopiadoras pueden considerarse como productos mecatrónicos. Al aplicar una filosofía de integración en el diseño de productos y sistemas se obtienen ventajas importantes como son mayor flexibilidad, versatilidad, nivel de "inteligencia" de los productos, seguridad y confiabilidad así como un bajo consumo de energía. Estas ventajas se traducen en un producto con más orientación hacia el usuario y que puede producirse rápidamente a un costo reducido

Aplicación en México

La Mecatrónica en México inicia a principios de los años 90's, cuando varias instituciones de educación superior como la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la Universidad Anáhuac del Sur (UAS) y el Instituto Politécnico Nacional (IPN) ofrecen las primeras asignaturas orientadas en la enseñanza del concepto de la Mecatrónica en licenciatura y posgrado.³³

En 1994 inicia esta opción educativa la Universidad Anáhuac del Sur, posteriormente en 1997 la Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas (UPIITA) del IPN ofrece la Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica en México.

Ambas carreras iniciaron con un grupo reducido de alumnos. A mediados de los 90's, otras Universidades se interesan en conocer más sobre esta disciplina y de las posibilidades que tiene para lograr un mejor desarrollo profesional de sus egresados. A finales de los 90's, algunas Instituciones brindan estudios más completos de la Mecatrónica mediante diplomados y cursos de especialización en postgrado, como es el caso del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM). Así mismo, otras Universidades como la Universidad Iberoamericana, La Salle y la UNAM, brindan estudios

³³ <http://www.mecamex.net/docs/meca01.pdf>



similares mediante carreras como Ingeniería Cibernética y en Sistemas computacionales.

A mediados del 2000, el ITESM se suma a las Universidades que ofrecen la carrera de Ingeniería Mecatrónica en el mundo, después de un largo y complejo proceso que le llevó varios años, se logra formar la Academia de Mecatrónica del Sistema ITESM, coordinados por el Dr. Eugenio García del Campus Monterrey.

Recientemente, se han creado diversos Departamentos de Mecatrónica en Universidades, Institutos y Centros de Investigación y Desarrollo, los cuales se encuentran en los primeros años de operación. En las Universidades la formación del Ingeniero se basa en lograr una generalización de conocimientos en Mecánica, Electrónica e Informática bajo un enfoque mecatrónico. Por su parte, los centros de investigación se orientan a realizar proyectos tecnológicos en donde se requieren resolver problemas complejos de Ingeniería.

La Unidad de Postgrado del Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial del Estado de Querétaro, CIDESI, a través del Postgrado Interinstitucional en Ciencia y Tecnología, PICYT, se encuentra realizando programas de Mecatrónica a nivel de Especialización, Maestría y Doctorado, estos programas se suman a la formación de alto nivel en México que efectúa desde 1997 el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, a través del Doctorado en Ingeniería con especialidad en Mecatrónica.

El Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, CENIDET ofrece desde 1997 el Programa de Especialización en Ingeniería Mecatrónica y desde el 2000 los programas de Maestría y Doctorado en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica. Recientemente, en el 2004 la Universidad Modelo, en Mérida se encuentra desarrollando su programa de Maestría en Ingeniería Mecatrónica

El ingeniero Romy Pérez Moreno, profesor-investigador del Departamento de Energía de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). Entrevistado en el marco del Segundo Congreso de Ingenierías Mecánica, Eléctrica, Electrónica y Mecatrónica, realizado en la Unidad Azcapotzalco de esta Casa de estudios, señaló que México muestra un desarrollo incipiente en mecatrónica, pues sus avances más significativos se centran en prototipos de robots y brazos que se realizan en diversas instituciones de educación superior, el académico agregó que el desarrollo tecnológico en el país se centra en el diseño de máquinas, herramientas, procesos y sistemas, así como labores de mantenimiento y soporte³⁴.

El ingeniero mecánico egresado de la UAM, dijo que en la parte de mecatrónica se han construido brazos para diferentes aplicaciones en diversas instituciones, además de robots móviles aunque en algunos de ellos se trabaja sólo la programación del control del robot.

³⁴ Diario de México 8 de Junio de 2007 ed 14750



Legislación y Normatividad

En México se pueden identificar las normas relacionadas con reglamentos de Instituciones educativas, no se han encontrado datos de legislación de carácter federal o internacional que regulen las actividades de la mecatrónica en el interior del país o hacia sus fronteras.

El Comité de Normalización de Competencia Laboral de la Industria Electrónica desarrolló la Norma Técnica de Competencia Laboral aplicada al ensamble de equipos mecatrónicos, cuya calificación presenta los parámetros laborales requeridos para el desempeño competente del candidato para ensamblar equipos mecatrónicos, incluyendo desde la preparación de los componentes mecatrónicos y herramientas necesarias para la ejecución del proceso, hasta el ensamble y ajuste de los componentes contribuyendo al aseguramiento de la calidad del producto.

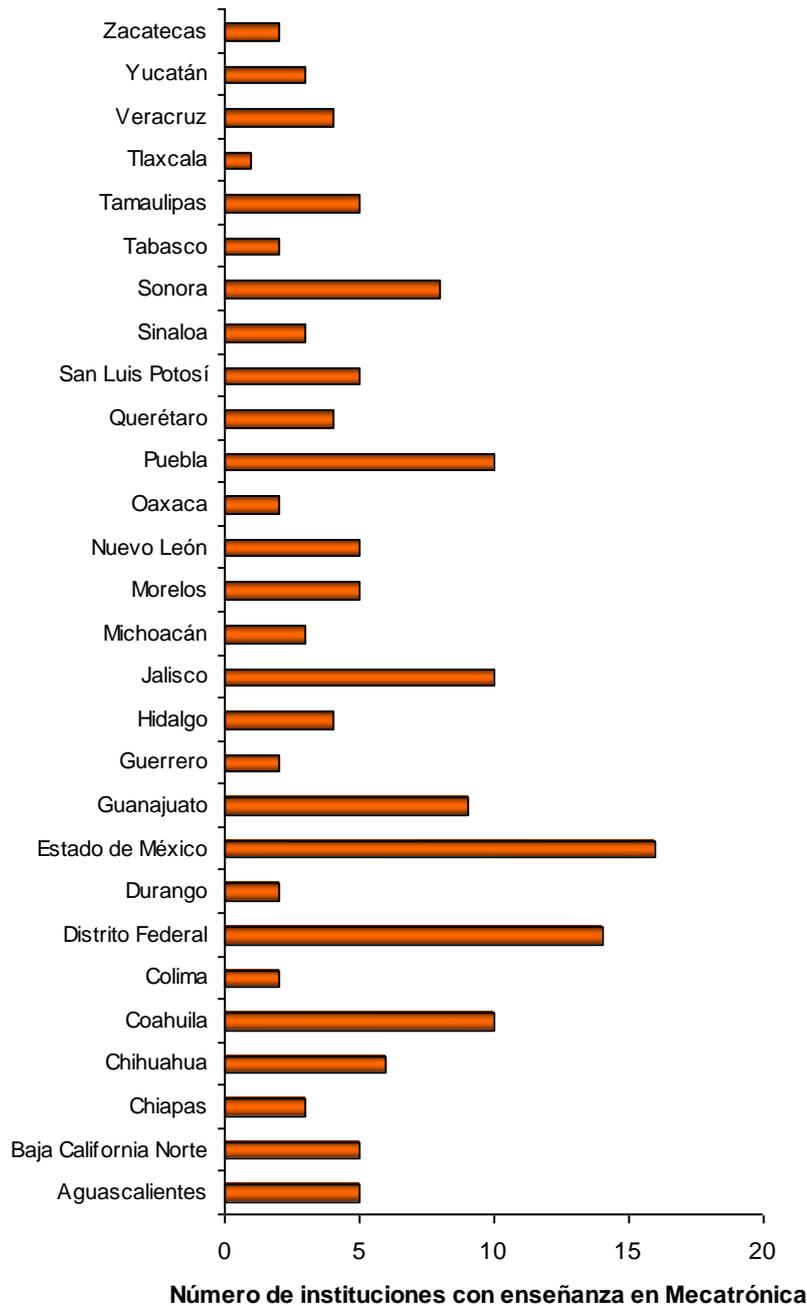
Es una norma de aplicación nacional cuya cobertura se extiende a la Manufactura de productos eléctricos y electrónicos y existen otras normas de competencias laborales para este concepto.

Educación

Son varias las instituciones que manejan una formación profesional en el área de la mecatrónica y aunque cada una de ellas establece los requisitos para iniciar esta formación, en términos generales el perfil del aspirante al nivel de ingeniería indica que además de haber cursado el Área de las Ciencias Físico-Matemáticas en el Bachillerato, cuenta con conocimientos sólidos de Física, Matemáticas y Química, debe manejar el idioma inglés a nivel de traducción ya que la mayor parte de la literatura actualizada sobre el tema está en ese idioma.

Al término de su preparación profesional, el egresado de ingeniería mecatrónica cuenta con una sólida formación y conocimientos en las ciencias básicas, así como en las áreas de diseño mecatrónico, sistemas de control, electrónica industrial, manufactura y materiales, que le permiten desempeñarse eficientemente durante su vida profesional y sirven de base para especializarse, emprender estudios de posgrado y mantenerse actualizado respecto a los constantes avances en las técnicas y las tecnologías de la Ingeniería Mecatrónica.

La siguiente gráfica nos permite identificar las entidades federativas con mayor número de instituciones educativas que ofrecen enseñanza en Mecatrónica



Fuente: Elaboración propia. 2007

Tenemos al Estado de México, Distrito Federal, Coahuila, Jalisco y Puebla como las 5 principales entidades que ofrecen recursos humanos en el área de la mecatrónica. Este resultado está influenciado en gran parte por el sobresaliente número de instituciones educativas con que cuentan cada una en relación al resto de los Estados.



Campo y Mercado de Trabajo Actual y Potencial

El Mecatrónico es un líder de proyectos de diseño, construcción e implantación de nuevos productos o procesos inteligentes que requieran de conocimientos de mecánica de precisión, instrumentación electrónica, ingeniería de control y diseño computarizado aplicados principalmente a la manufactura, servicios y enseres³⁵.

Su mayor cualidad es saber conocer y aplicar la combinación perfecta de las diferentes tecnologías para crear nuevos productos inteligentes y liderar equipos de proyectos conformados por diferentes tipos de ingenieros, aprovechando las ventajas de conocimientos especializados de cada uno de ellos para realizar complejos sistemas que un sólo tipo de ingenieros no podría hacer, pues se tiene el conocimiento clave de cómo integrar cada uno de ellos

Puede trabajar en diversas áreas dentro de las industrias. El IMT trabajará en industrias donde se emplee alta tecnología de manufactura; tal es el caso de las compañías manufactureras de productos electrónicos (Thomson Consumer Electronics, Nortel Networks, Celestica, etc.); de ensamble y diseño automotriz (Delphi, Chrysler, VW); y, en general, toda industria que haga uso o diseñe equipos mecánicos de alta precisión en el que se integre el uso de nuevas tecnologías de control automático. También puede trabajar en empresas donde se requiera optimizar el proceso de producción mediante el uso de tecnología avanzada, o en áreas de diseño de producto donde se requiera de integración de tecnologías de automatización, robótica, electrónica y mecánica³⁶.

El mercado de trabajo de quienes cursen esta especialidad incluye centros de diseño, así como empresas que requieran de los servicios de un ingeniero especializado en el uso de sistemas mecánicos controlados por sistemas de control avanzado (por ejemplo, por computadoras). Más concretamente, existe un número importante de empresas basadas en equipos mecatrónicos que requieren de individuos con esta especialidad para puesta en marcha de plantas, ajuste de equipos, programas de desarrollo de nuevos productos, automatización de plantas y procesos, etc.

El campo de trabajo actual y potencial del ingeniero mecatrónico es muy amplio, ya que va desde la automatización de operaciones en microempresas hasta la completa automatización y control de líneas de producción en grandes empresas, desde el diseño de productos sencillos de uso cotidiano hasta el diseño de sofisticados equipos con tecnología de punta.

El ingeniero mecatrónico trabaja en ámbitos relacionados con la mecánica de precisión, los sistemas de control electrónicos y los sistemas de información computarizados, tanto en el sector público como en el privado, de producción y de servicios, diseñando, controlando e implantando dichos sistemas.

³⁵ <http://www.cem.itesm.mx/dia/mujereseningenieria/preguntas.htm>

³⁶ http://www.mty.itesm.mx/dia/deptos/dma/imt/_FAQ.htm



Otras áreas laborales se ubican en las industrias manufacturera, petrolera, de generación de energía eléctrica, minera, siderúrgica, agroindustrial, de alimentación y salud, así como en los servicios de transporte.

También es posible el ejercicio independiente de la profesión; la formación de su propia empresa; el trabajo en centros de investigación y en instituciones de educación superior.

Es importante señalar que las posibilidades de contratación de los egresados están en función de la necesidad de crecimiento y modernización de la industria y los servicios, ya que son precisamente los ingenieros mecánicos los promotores y actores principales de esta modernización.

Cinvestav

El Departamento de Ingeniería Eléctrica del CINVESTAV-IPN ofrece Programas de Maestría y Doctorado en Ciencias en Ingeniería Eléctrica, en la opción de Mecatrónica.

Al igual que todos los programas que se ofrecen en el CINVESTAV, estos programas están en el padrón de programas de excelencia del CONACYT

Gestada desde 1993, la Sección de Mecatrónica del Departamento de Ingeniería Eléctrica del Centro de Investigación y Estudios Avanzados, ha sido pionera en México de la investigación en el área.

Por la calidad de los programas de posgrado que ofrece y de la investigación que realiza, actualmente es el grupo de investigación líder en el desarrollo de la mecatrónica en México.

Asociación Mexicana de Mecatrónica

Una de las organizaciones que ha permitido la difusión de este concepto es la Asociación Mexicana de Mecatrónica, creada en agosto de 2001 con el objetivo de Impulsar el desarrollo y estudio de la Mecatrónica en general, a través de los medios de comunicación, trabajos de investigación, foros nacionales y participación en las Universidades públicas y privadas, así como en todo tipo de empresas, entre otros varios objetivos, ha hecho posible la realización de foros nacionales de mecatrónica, cuyos resultados se muestran a continuación.

**Datos de participación en los Congresos Nacionales de Mecatrónica
organizados por la Asociación Mexicana de Mecatrónica A.C.
Relación de participaciones en los Congresos Nacionales de Mecatrónica**

	1er	2do	3er	4to	5to	6to
Preparatorias	1	5	1	3	6	2
Universidades	10	21	31	35	25	15
Institutos	17	15	18	15	10	12
Centros de Investigación	4	8	5	9	7	5
Empresas	3	15	19	21	11	13
Participantes	1059	1137	1328	1659	948	1264

Sede	1er	2do	3er	4to	5to	6to
Club de Industriales de Querétaro, AC	Club de Industriales de Querétaro, AC	Universidad Anáhuac del Sur	Auditorio Josefa Ortíz de Domínguez	Universidad Tecnológica de Coahuila	Centro Cultural Manuel Gómez Morin	Instituto Tecnológico de San Luis Potosí
Querétaro	Querétaro	Estado de México	Querétaro	Coahuila	México, D.F.	San Luis Potosí

Fuente: AMM. 2008

Origen de los participantes en los Congresos:





Capítulos Estudiantiles que han rendido protesta durante los Congresos

Instituto Tecnológico de Puebla
Rama Juvenil de Mecatrónica del Colegio Benavente
Instituto Tecnológico de Saltillo
Instituto Tecnológico de Reynosa
Universidad Anáhuac del Sur
UPIITA, Instituto Politécnico Nacional
Instituto Tecnológico de Ciudad Cuauhtemoc
Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, CENIDET
Instituto Tecnológico de Querétaro
Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios No.118
Instituto Tecnológico de Minatitlán
Universidad Tecnológica de Coahuila
Instituto Tecnológico de San Luis Potosí
Universidad Politécnica de Aguascalientes
Instituto Tecnológico de Cd. Madero
Universidad Kino
ITESM Campus León
Universidad Autónoma de Cd. Juárez
Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial
ITESM Campus Querétaro
Universidad Autónoma de Yucatán
ITESM Campus Estado de México
Universidad del Valle de México Campus Querétaro
Instituto Tecnológico de la Laguna
Universidad del Mayab S.C.
Instituto Tecnológico Superior de Cajeme
Instituto Tecnológico de Mexicali
Universidad Politécnica de Zacatecas
Instituto Tecnológico de Matamoros
Instituto Tecnológico de Orizaba
Universidad Politécnica de Querétaro
Universidad Politécnica del Valle de Toluca
Instituto Tecnológico Superior de Macuspana

El Crecimiento de la Mecatrónica en México

La mecatrónica en México ha tenido un explosivo crecimiento nunca antes visto en el país, incomparable con ninguna otra disciplina, tanto en el ambiente académico público como privado, mas no así en el ambiente industrial, que permanece en términos generales como una ingeniería desconocida. Debido a los intereses de generar, y apoyar en general, programas académicos de disciplinas emergentes, como biotecnología, telemática, nanotecnología, tecnologías de la información, etcétera, la mecatrónica sobresale de entre todas estas y se observa hoy día una generación descontrolada -y sin supervisión de autoridad oficial alguna que garantice la calidad de estos programas- de programas académicos y grupos de mecatrónica en el país.



Esencialmente factores y presiones tanto externas (globalización y nuevas disciplinas) como internas (incentivos para generar carreras en áreas emergentes) del país motivaron que muchas instituciones generaran nuevas opciones académicas. Esto a su vez, ha generado una gran expectativa en el medio académico, que no concuerda con la pobre perspectivas del mundo industrial.

Recientemente, se han creado diversos Departamentos de Mecatrónica en Universidades, Institutos y Centros de Investigación y Desarrollo, los cuales se encuentran en los primeros años de operación. En las Universidades la formación del Ingeniero se basa en lograr una generalización de conocimientos en Mecánica, Electrónica e Informática bajo un enfoque mecatrónico. Por su parte, los centros de investigación se orientan a realizar proyectos tecnológicos en donde se requieren resolver problemas complejos de Ingeniería.

México muestra un desarrollo incipiente en mecatrónica, pues sus avances más significativos se centran en prototipos de robots y brazos que se realizan en diversas instituciones de educación superior, el desarrollo tecnológico en el país se centra en el diseño de máquinas, herramientas, procesos y sistemas, así como labores de mantenimiento y soporte. Se han construido brazos para diferentes aplicaciones, además de robots móviles aunque en algunos de ellos se trabaja sólo la programación del control del robot.

La mecatrónica es un campo que no sólo está presente en los procesos industriales, sino que forma parte de la vida cotidiana de la población.

En el ámbito comercial, hay un robot disponible en el mercado que va de un punto a otro en una planta bajo un plan determinado. El artefacto contiene información para que lleve la pieza de una máquina del módulo A al B, es decir, que le es posible encontrar una trayectoria.

Como ejemplos de la implicación de la mecatrónica en la vida cotidiana, se encuentra el caso de una aspiradora automática que busca trayectorias y que su sistema le permite ubicar las trayectorias y evitar que pase dos veces el mismo lugar. También los autos que tienen inyección electrónica y son controlados por un "cerebro" que trabaja con una parte mecánica.

En el país y en las universidades falta explorar áreas como el control, materiales más ligeros para robots y motores eficientes.



Entorno Industrial Globalizado

Los dos indicadores globales mas importantes de competitividad según el Instituto Mexicano de Competitividad (IMCO) son los publicados en el Global Competitiveness Report 2007-2008 del World Economic Forum (WEF) y el Índice publicado por el International Institute for Management Development (IIMD). En este 2007 el WEF coloca a México en el lugar 52 entre 151 países y el IIMD coloca a México en el lugar 47 de los 55 países evaluados por el organismo. En un análisis desarrollado por el IMCO en los últimos 10 años con respecto al total de países evaluados arroja que el país ha decaído en ambos índices, ligeramente en el índice WFE y de forma mas pronunciada en el índice del IIMD. Los aspectos evaluados se clasifican en 3 áreas para determinar el posicionamiento del los países evaluados que son el desempeño de las instituciones publicas, el entorno comercial y el desarrollo e innovación de tecnología. En ésta última área, la capacitación, formación de recursos humanos e investigación son claves para el desarrollo del país y elevar su competitividad.

b. Diagnóstico tecnológico sobre la situación actual del sector industrial por segmentos y productos mecatrónicos (automotriz, aeroespacial, electrónica, automatización y control, eléctrica y médica).

Para determinar la situación actual del sector industrial, se llevo a cabo un estudio de campo donde se consideraron algunos aspectos técnicos presentes en las empresas, esta parte del documento propone dar un breve resumen de la situación de cada sector y su relación con la mecatrónica.

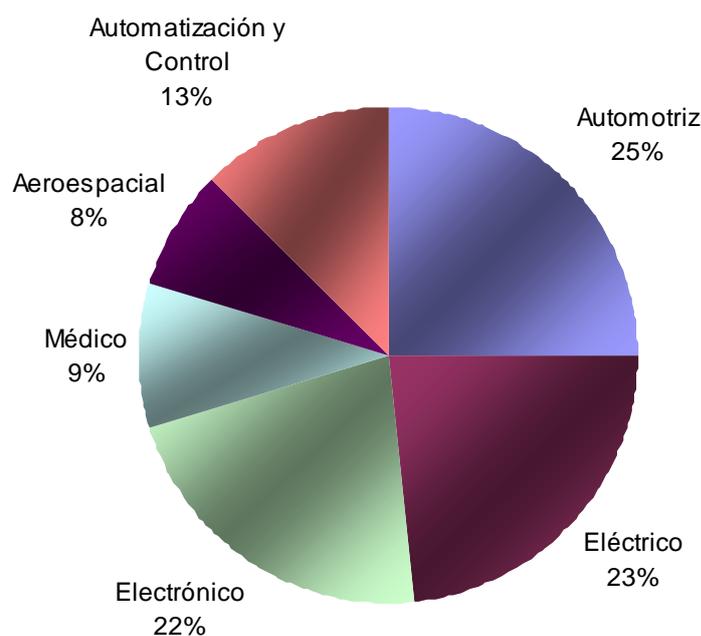
Durante la investigación de campo se visitaron 65 empresas ubicadas en 7 ciudades del la República Mexicana:

- Cd. Juárez
- Tijuana
- Monterrey
- Guadalaiaara
- San Luis Potosí
- D.F. y Área Metropolitana
- Querétaro.

Las empresas visitadas pertenecen a los sectores:

- Automotriz
- Aeroespacial
- Electrónica
- Automatización y control
- Eléctrica
- Médica

La muestra de empresas estuvo compuesta de la siguiente manera:





Empresas visitadas

Empresa	Ciudad	Empresa	Ciudad
Arroba Ingenieria	D.F.	Tremec	Querétaro
Rochester Medidores	D.F.	ITR	Querétaro
SCHOLZ VICKENVACK	D.F.	Mondragon	Querétaro
Festo	D.F.	Dana	Querétaro
Microm	D.F.	TRW Automotriz	Querétaro
Prolec	D.F.	Bticino	Querétaro
CRYA	D.F.	Samsung	Querétaro
Robodacta	D.F.	SIEMENS	Querétaro
Solaris	D.F.	Cordaflex	Querétaro
EBIME	Guadalajara	Arvin Meritor	San Luis Potosí
Valcimex	Guadalajara	Contitech	San Luis Potosí
H3O Control	Guadalajara	Bosch	San Luis Potosí
Siemens	Guadalajara	Eptec	San Luis Potosí
Benchmark Electronics	Guadalajara	ThyssenKrup Mexinox	San Luis Potosí
SANMINA SCI	Guadalajara	Edscha	San Luis Potosí
BOCH	Cd. Juárez	Remy	San Luis Potosí
Continental	Cd. Juárez	Draxlmaier	San Luis Potosí
TOSHIBA	Cd. Juárez	Calvek	San Luis Potosí
EPIC Technologies	Cd. Juárez	Mabe	San Luis Potosí
Venusa	Cd. Juárez	Merkle Korff	San Luis Potosí
HoneyWell	Cd. Juárez	Sony	Tijuana
ELECTROLUX	Cd. Juárez	Delphi	Tijuana
Philips	Cd. Juárez	Aerodesign	Tijuana
Festo	Cd. Juárez	Right Hand Manufacturing	Tijuana
Stoneridge	Cd. Juárez	Kyomex	Tijuana
COVIDIEN	Cd. Juárez	Industrias Electricas EG	Tijuana
CMV	Cd. Juárez	Covidien Nellcor	Tijuana
Whirlpool Supermatic	Monterrey	Plantronics	Tijuana
Whirlpool Horizon	Monterrey	NPA de Mexico	Tijuana
Prolec-GE	Monterrey	Rockwell	Tijuana
MD Helicopteros	Monterrey	Turbotecnología Reparaciones	Tijuana
LG Electronics	Monterrey	Technology and Industrial Services de México	Tijuana
Vitro	Monterrey		



SECTOR ELECTRÓNICO

La industria electrónica en México tiene una historia de cuatro décadas. Se inició en los años sesentas, con el ramo de electrónica de consumo, produciendo equipos como: radios, consolas, fonógrafos, estereofónicos y televisores de blanco y negro y en algunos casos televisores de color.

La política de sustitución de importaciones favoreció el crecimiento de este sector; sin embargo, propició que en ausencia de competencia externa, la industria nacional ofreciera productos de baja calidad.

Entre los años 1960 y 1985 se desarrolló un sector electrónico incipiente con precios altos y calidad baja. Los bajos niveles de competitividad impidieron que la mayor parte de las plantas que operaron durante la época proteccionista, continuaran funcionando al abrirse la economía a las importaciones.

A mitad de la década de los ochenta se produce una reestructuración de la industria electrónica, que se internacionaliza con base en las maquiladoras. Coexisten entonces dos grupos de empresas: las que atienden el mercado interno y las que exportan.

Ante la baja competitividad existente, la apertura a la importación de partes electrónicas, resultó en la desaparición casi completa del sector de componentes. Así, se transitó de una industria que había logrado grados de integración de 80% a una con sólo el 10%.

Durante la década pasada la industria electrónica en México experimentó importantes transformaciones. Estas fueron principalmente:

- La industria se desreguló (apertura comercial y eliminación de requisitos de desempeño).
- Las empresas dedicadas exclusivamente a satisfacer la demanda interna tuvieron que modernizarse, reconvertirse o cerrar.
- Se instalaron un gran número de empresas globales dedicadas a penetrar los mercados externos.
- Se desarrollaron varios agrupamientos industriales, siendo los más importantes el de productos de audio y video en Baja California y el de equipo de cómputo y telecomunicaciones en Jalisco.
- La industria maquiladora electrónica adquirió gran importancia.

Actualmente, la industria electrónica opera totalmente en un ambiente de liberalización y desregulación total, que permite obtener preferencias arancelarias en prácticamente la totalidad de los insumos, partes, componentes, maquinaria y equipo, promoviendo el desarrollo de las cadenas productivas.

La industria electrónica es considerada como pilar central de la industria manufacturera en México, esto se debe en principio a los resultados obtenidos en los indicadores económicos como empleo, exportaciones e inversión extranjera directa.

**Principales Indicadores Económicos de la Industria Electrónica en México
2000 - 2007**

Concepto	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Índice del Valor Bruto de Producción (1994=100)	357	340	324	319	365	380*	456*	520*
Exportaciones (millones de dólares)	46,289	42,968	39,896	39,032	44,783	46,856	56,398	64,637
% Exportación de manufacturas	32.0	30.5	28.2	27.8	28.4	26.7	27.8	14.6
I E D (millones de dólares)	933	493	597	494	806	994	904	686
Empleo (No. de personas)	384,248	346,140	283,187	280,790	286,592	297,000*	315,000*	ND
Plantas Industriales	ND	ND	ND	632	723	700	700	690

* Estimado

Fuente: Secretaría de Economía. Dirección General de Industrias Pesadas y de Alta Tecnología (DGIPAT) con información del Sistema de Consulta de Información de Comercio Exterior (SICM) de la Dirección General de Comercio Exterior (DGCE), Dirección General de Inversiones Extranjeras (DGIE) e Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI).

El fuerte ingreso de inversión extranjera que se presentó en respuesta a la entrada en vigor del TLCAN, se dirigió al principio principalmente al establecimiento de plantas propiedad de OEMs, de equipo de cómputo en el estado de Jalisco y de equipos de audio y video en Baja California. En esta década han crecido fuertemente también los *clusters* de Chihuahua y Tamaulipas.



Localización Geográfica de la Industria Electrónica

TIJUANA

Sanyo
Sony
Hitachi
Matsushita
JVC
Samsung
Pioneer
Mitsubishi
Sharp
Delta
Ichia
Ferry Tech
Wistron
Display Orion
Amphenol
ADI Systems
Philips
Kyocera
Rectificadores Intern.
Vigobyte
Bourns
Bose
Skyworks
Panasonic
Kodak
Delphi

REYNOSA

Philips
Sony
Jabil
Celestica
Nokia
Lucent Technologies
Fujitsu
Condura
Delnosa
Delco
Matsushita
Delphi
Keytronics
Tyco

QUERÉTARO

Clarion
Siemens

MEXICALI

Sony
Mitsubishi
LG
Thomson
King Cord Mex
BenQ

SONORA

Alcatel
Motorola
Volex
Molex
AMP
Amphenol

JUÁREZ

Toshiba
Philips
Thomson
Kenwood
Asus
Keytronics
Tatung
Lite on Enlight
Elamex
Plexus
ECMM
Elcoteq
Delphi

AGUASCALIENTES

White Westinghouse
Texas Inst
Xerox
Siemens
Flextronics
Volex

CUERNAVACA

Nec

CANCÚN

Vitelcom

CHIHUAHUA

Foxconn
Honeywell
Altec
Jabil
SMTC

TORREÓN

Thomson

MONTERREY

Pioneer
Kodak
SCI-Sanmina
Celestina
Elcoteq
AFL
Nippon Denso
Axa Yazaki

GUADALAJARA

IBM
HP
Hitachi
Nec
Lucent Technologies
Kodak
Siemens
MTI Electronics
Solectron Mex
Flextronics
Jabil Circuit
SCI Sanmina
ECMM
Benchmark
Technicolor
Universal Scientific
Motorola
Cumex

EDO. MEX

Ericsson
Alcatel
Pantech
AMP
Sony
Scientific Atlanta
Olimpia



El 75% de las empresas se localizan en los estados fronterizos del norte del país, Baja California, Chihuahua y Tamaulipas, además de Jalisco.

En México, los principales productos de la industria electrónica son televisores, equipo de cómputo y teléfonos celulares, con aproximadamente 24%, 17% y 10% del total en 2007, respectivamente³⁷.

Actualmente se puede decir que la industria electrónica en México tiene operaciones bien diversificadas, y se ha transformado en un sector altamente globalizado y estratégico, ya que participa en los procesos de producción de productos fabricados, que van desde la industria juguetera hasta la automotriz, se producen casi todos los productos electrónicos de mayor demanda en los mercados mundiales en los segmentos de audio y video, cómputo, telecomunicaciones, equipo comercial y de oficina, electrónica de medición y control, electrónica biomédica y partes para vehículos automotores.

Situación actual relacionada con la mecatrónica

Durante la investigación de campo que se realizó a empresas, se encontró que el desarrollo de la industria electrónica en México se inició tomando como ventaja a la empresa transnacional electrónica, particularmente proveniente de Japón, E.U.A. y Corea, aun cuando existen procesos incipientes de incorporación de empresas nacionales.

La industria electrónica en México se concentra en los eslabonamientos finales de las cadenas de valor, particularmente en el ensamble final, prueba final, control de calidad y empaque. La producción de software está excluida, en lo fundamental, de las cadenas de valor presentes en México.

Se trata básicamente de contratistas manufactureros internacionales y propietarios de marca que producen en gran escala para las empresas propietarias de la tecnología y del diseño.

La producción de componentes incluye eslabonamientos productivos, en los cuales, la cantidad de empresas es reducida y se trata de empresas globales productoras de primer nivel, y empresas nacionales de segundo nivel, que a su vez son proveedoras de las anteriores.

La estructura de las cadenas productivas en México muestra que la industria electrónica se encuentra mayormente integrada por empresas trasnacionales del sector electrónico/informático mundial y no existe una cadena de valor que vincule productivamente todas las actividades presentes en el país y con el resto de las industrias afines, como la eléctrica.

³⁷ Industria Electrónica en México. Secretaría de Economía. Dirección General de Industrias Pesadas y de Alta Tecnología (DGIPAT). Abril 2008



Una estructura de este tipo requeriría de una política industrial activa de integración regional de las cadenas de valor que prevea aspectos como el desarrollo del sector científico-educativo y su vinculación con la industria, aprendizaje tecnológico y desarrollo de tecnologías propias, escalamiento industrial, desarrollo de infraestructura y formación de capital humano.

No se encontraron empresas cuyo capital sea mayoritariamente local y de las compañías que se visitaron según la muestra, la mayoría de éstas son predominantemente asiáticas.

El sector electrónico en general, se torna como un área de oportunidad para la automatización, ya que prácticamente todos los procesos de fabricación de sistemas electrónicos se pueden hacer de manera automática.

El avance significativo en la maquinaria y equipo desarrollado en países como Alemania, Dinamarca, Francia, Japón, Corea y Estados Unidos para las compañías de este sector, hace que la oportunidad de desarrollo de equipos mecatrónicos como aportación de grupos mexicanos sea prácticamente nula por el momento. Los *lay out* vienen con tecnología llave en mano donde el hardware y el software difícilmente se pueden modificar, sin embargo la velocidad con la que se cambian los modelos, hacen necesario que algunas partes del proceso se realicen a mano y es ahí donde se presenta el amplio nicho de mercado para los tecnólogos mexicanos, como ejemplo de esto, durante las visitas se ubicaron equipos diseñados y construidos por ingenieros que incluso han sido exportados a las filiales de las compañías.

SECTOR DE MANUFACTURAS ELÉCTRICAS

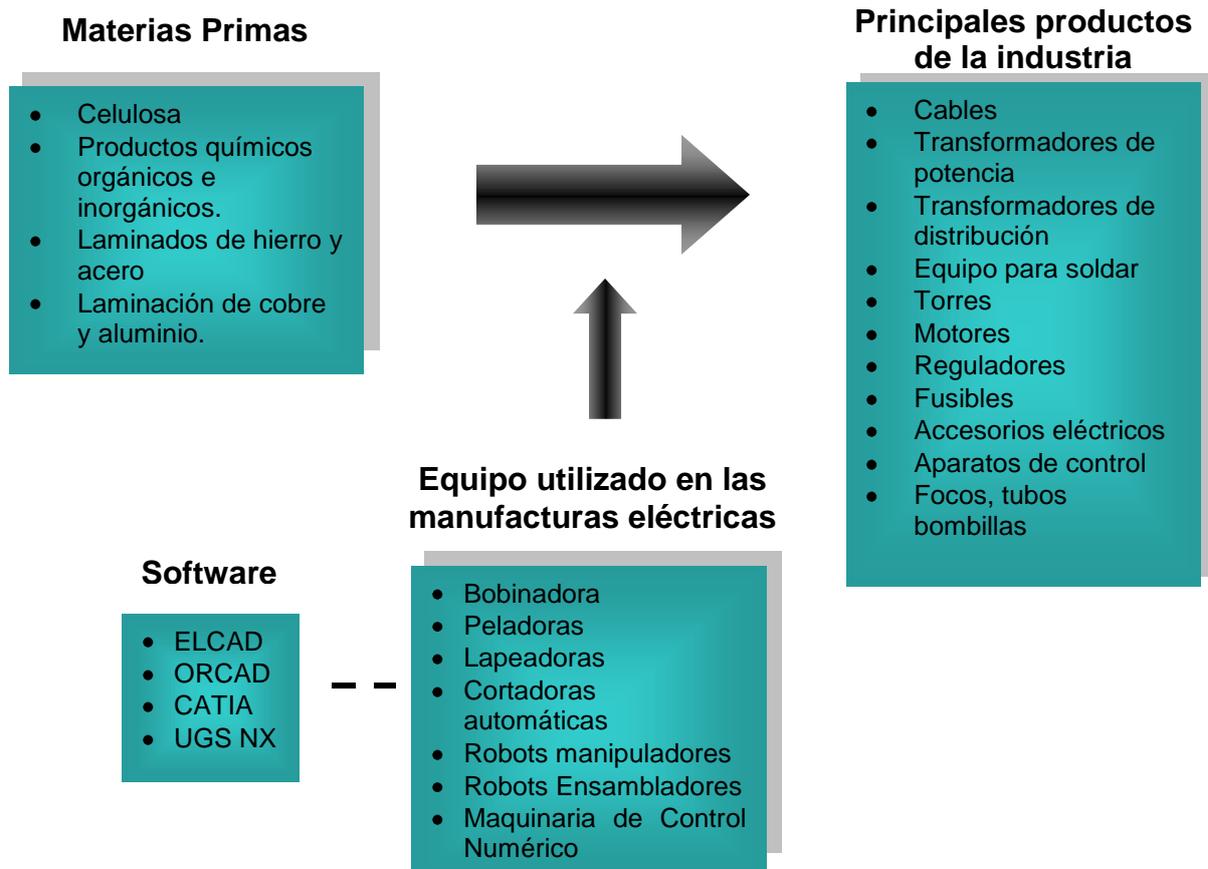
La cadena productiva de las manufacturas eléctricas, es una de las más complejas del país pues integra una amplia diversidad de bienes, desde grandes equipos para la infraestructura eléctrica e industrial, hasta aparatos de control, motores y focos, entre otros.

Agrupa múltiples materias primas, maquinaria especializada, técnicos altamente capacitados y múltiples servicios relacionados.

Los insumos mayormente demandados por la industria eléctrica son laminados de acero, celulosa y productos químicos básicos.

Los principales productos de manufacturas eléctricas son cables, transformadores de potencia y de distribución.

A continuación se muestra un gráfico de los elementos involucrados en el proceso de producción de manufacturas eléctricas, tal como se aprecia, dentro de esta industria se utilizan tecnologías avanzadas.

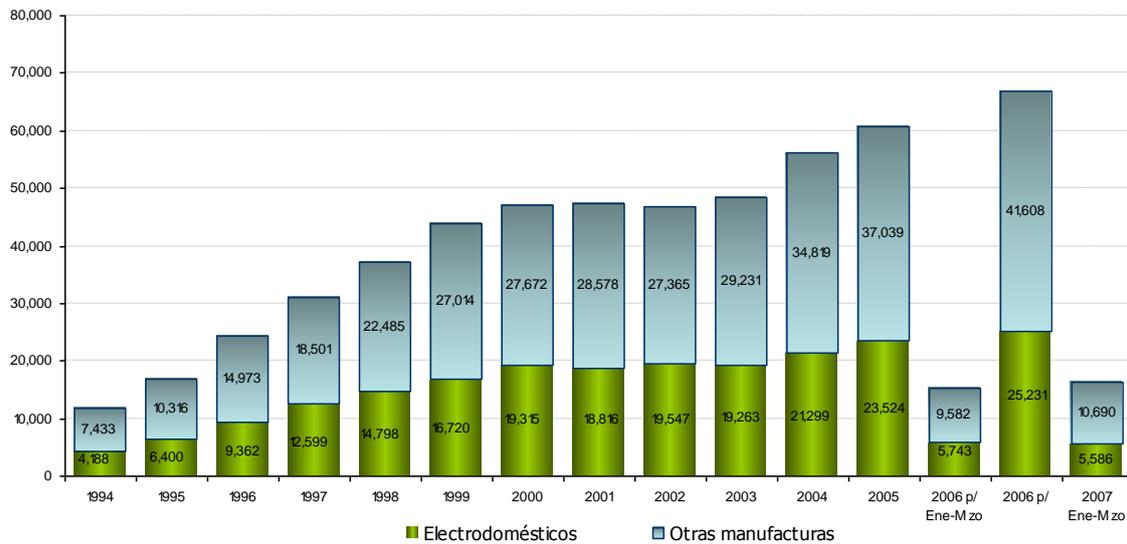


Fuente: Elaboración propia con información de la investigación de campo

La industria de manufacturas eléctricas se divide en dos grandes categorías de productos: Electrodomésticos y Otras manufacturas.

En la siguiente gráfica se aprecia el crecimiento de las ventas de manufacturas eléctricas en México a partir de 1994, año en que al igual que para la industria electrónica, la apertura comercial con el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) la industria eléctrica tuvo un crecimiento gradual.

Ventas Totales
(Millones de pesos a precios corrientes)



p/ Cifra preliminar.

Fuente: Encuesta Industrial Mensual. INEGI. (www.inegi.gob.mx)

Situación actual relacionada con la mecatrónica

Dentro de este sector se visitaron plantas de tamaño grande, la mayoría son de capital extranjero, por lo que las políticas internas difieren unas con otras por pertenecer a corporativos cuyos orígenes son diferentes.

Las empresas de este sector manifestaron que las compañías competidoras trabajan en las mismas condiciones en utilización de maquinaria y equipo, así como en el uso de mano de obra en ciertos procesos, por lo que el mercado no ha marcado una pauta de uso de tecnologías diferentes a las utilizadas actualmente, situación que se corroboró en las visitas al constatar el uso de los mismos equipos en Lay Out muy parecidos.

Se considera que en este sector en particular, será muy difícil incidir en el uso de tecnologías mecatrónicas distintas a las que utilizan, ya que el avance en los equipos de patente que se instalan en los procesos de manufactura han probado su desempeño y es clara la lealtad a las marcas que son utilizadas.

En el ramo maquilador requieren esporádicamente de apoyo en mantenimientos correctivos urgentes, cuando las compañías proveedoras no alcanzan a reaccionar de inmediato; situación que es difícil de predecir como para que una compañía se dedicara a esta actividad, ya que no podría planear una demanda en un plazo determinado.



SECTOR AUTOMOTRIZ

El sector automotriz es un sector líder en la dinámica productiva del país, se le ha considerado así desde la implantación de la producción en masa, hasta el modelo de producción flexible.

México ha experimentado transformaciones generadas por el nuevo modelo productivo, una de las principales ha sido el cambio al pasar de un modelo basado en la sustitución de importaciones, el proteccionismo y el mercado interno, a otro que se caracteriza por una nueva estrategia orientada a mantener relaciones con un mercado exterior bajo una nueva política de apertura comercial, lo que también ha generado el desplazamiento de la industria automotriz de regiones tradicionalmente industrializadas hacia nuevas regiones emergentes³⁸, en donde han encontrado mayores y mejores ventajas comparativas para operar bajo un nuevo modelo de características flexibles y de mayores vínculos con el exterior.

En un principio, México fue incorporado al desarrollo de la industria automotriz sólo a través de las empresas ensambladoras procedentes de los Estados Unidos, posteriormente en los años sesentas y setentas esta industria presentó un considerable desarrollo.

Después de una crisis durante la segunda mitad de los años 70's a la fecha, su participación bajo la nueva lógica de producción se ha transformado, sin embargo, su desarrollo sigue siendo el resultado de los lineamientos y estrategias generales planteadas por las grandes multinacionales que ahí operan, con sedes que se localizan en países tradicionalmente desarrollados como, Japón, Estados Unidos y algunos de Europa.

Desde la década de los noventa, la industria automotriz ha atravesado por un proceso de reconfiguración que la ha convertido, cada vez más, en una verdadera industria global, caracterizada por diversas alianzas estratégicas entre los principales fabricantes de automóviles en el mundo. El objetivo de estas alianzas ha sido la generación de mayores economías de escala en el diseño, fabricación y comercialización de nuevos modelos, buscando al mismo tiempo lograr una penetración más efectiva en nuevos mercados a través de la diversificación de marcas.

En la muestra visitada se incluyó a algunas microindustrias que en el pasado lograron insertarse como proveedoras de empresas de capital mayoritariamente extranjero o maquiladoras y que en su momento cumplieron con los estándares mínimos requeridos por sus clientes, sin embargo con el paso del tiempo al modificarse dichos estándares y niveles de producción y

³⁸ El sector automotriz en el proceso de industrialización en México: aspectos histórico-económicos de su conformación territorial, Vieyra Antonio, UNAM 2000

costo, se vieron desplazadas. A este tipo de industrias que pueden demostrar su historial como proveedoras del ramo y dada la dinámica con la que se ha desenvuelto en nuestro país el sector automotriz, las herramientas mecánicas como la automatización y el control los apoyaría para reinstalarse como proveedores de mayores empresas que iniciaran una dinámica mas acorde a la nueva lógica de producción y la reestructuración que a escala mundial se gesta en este sector.

El número de empresas de autopartes en el país se aproxima a las mil unidades productivas, de las cuales 70 por ciento son de capital extranjero y 30 por ciento nacional. Del total de empresas en el sector, 34.5 por ciento son fabricantes de primer nivel (proveedores directos de la industria terminal), siendo las empresas restantes fabricantes de insumos y materias primas de segundo y tercer nivel en la cadena productiva³⁹.

Principales Plantas Manufactureras de Equipo Original (OEM) en México



Fuente: Elaboración propia con información de la Secretaría de Economía

³⁹ Fuente: Industria Nacional de Autopartes, A.C.

Las empresas ensambladoras de vehículos tienen proveedores de primer y segundo nivel, los proveedores de primer nivel son principalmente empresas de origen y capital extranjero, así como algunas empresas nacionales con estándares de calidad mundial, estos proveedores representan el 38%, mientras que los proveedores que se colocan en el segundo o tercer nivel de la cadena y que representan el 62% del total, en lugar de abastecer sistemas, ofrecen partes y componentes que son incorporados a los procesos productivos de las empresas localizadas en los eslabones más altos y, en el caso de los proveedores que se encuentran en la base de la cadena, son quienes abastecen las materias primas y procesos básicos.

Las empresas que se encuentran en el nivel intermedio de la cadena automotriz son principalmente empresas nacionales medianas, con capacidad tecnológica y productiva débil o nula. Por tanto, el valor agregado de sus productos es reducido y, aunque abastecen de partes y componentes a los proveedores de primer nivel, también presentan una fuerte orientación al mercado de repuesto.

Ante este escenario, son los proveedores de niveles intermedios y bajos quienes tienen oportunidades potenciales de crecimiento, para convertirse en proveedores con mayor capacidad tecnológica, y un mayor nivel de automatización.



Fuente: Secretaría de Economía, con base en información de la INA para 2006

El diagrama anterior puntualiza como área de oportunidad el que los proveedores de primer nivel en un futuro puedan proveer de insumos a la industria electrónica, aeronáutica y metal-mecánica, debido principalmente a su grado de tecnología y automatización.

La industria automotriz se integra por un sector terminal y un sector autopartes. El sector terminal (armadoras) son las empresas establecidas en México que fabrican y/o ensamblan automóviles, camiones, tractocamiones y autobuses integrales, estas son las empresas que emplean más tecnologías mecatrónicas.

Maquinaria utilizada por el sector automotriz en México

Barredoras	Perfiladoras
Compresores	Cepilladoras
Fresadoras	Punteadoras
Dobladoras	Prensas
Guillotinas	Rectificadoras
Hornos	Pintadoras
Montacargas	Soldadoras
Seguetas	Inyectoras de plásticos
Taladros	Robots Ensambladores
Tornos	Robots Manipuladores
Laminadoras	Mandriladoras
Roladoras de Lamina	Máquinas de Prueba
Esmedriladoras	Máquinas Universales
Máquinas de usillos múltiples	Máquinas de Prototipos Rápidos
Máquinas de Control Numérico asistidas por Computadora (CNC)	Máquinas de medición por coordenadas

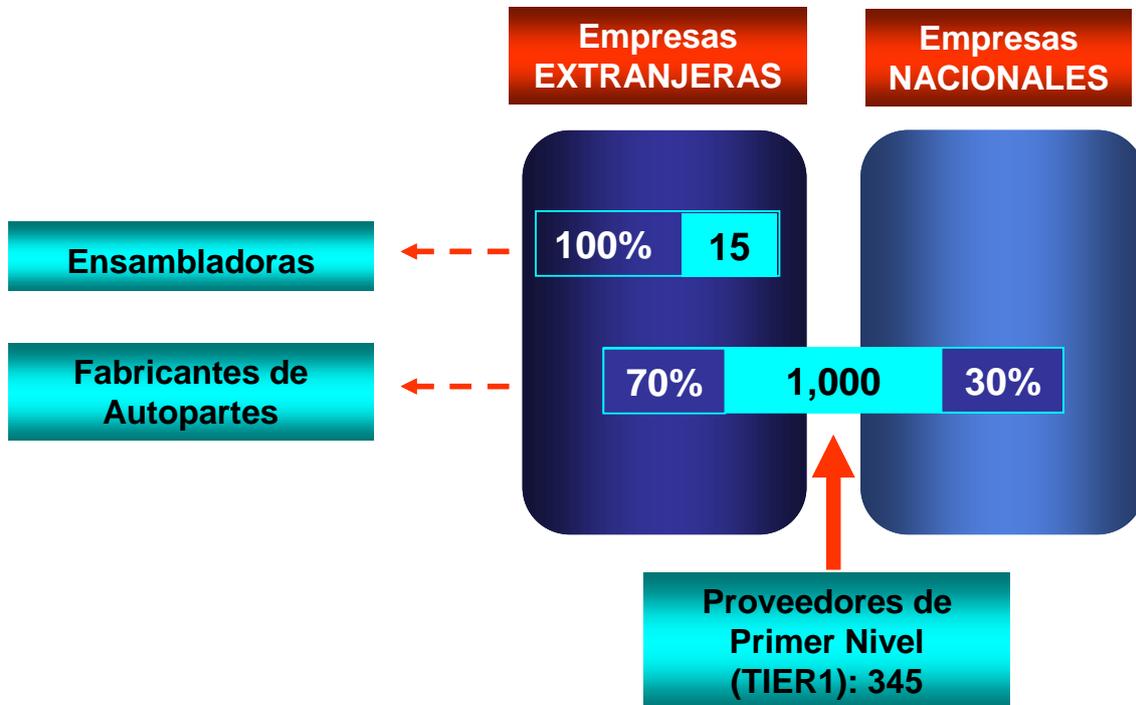
Fuente: *Elaboración propia*

El sector de autopartes son las firmas que fabrican partes y componentes para los mercados de equipo original y refacciones. A diferencia del sector terminal, en el que todas las empresas son de capital extranjero, en el sector autopartes se encuentra una gran variedad de tipos de empresa en cuanto a origen del capital (nacional, extranjero, co-inversión), tamaño (grande, mediana, pequeña) y orientación de mercado (desde fábricas locales de refacciones hasta maquiladoras). Es en este sector donde se encuentra un área de oportunidad para la mecatrónica.

La cadena de la industria automotriz probablemente supera en complejidad a la de cualquier otro sector industrial por la combinación de tres factores: gran número de componentes, alto volumen de producción y altos estándares de calidad. La industria ha generado una variedad de formas de organización para responder a esta complejidad⁴⁰.

⁴⁰ El sector autopartes en México; diagnóstico, perspectiva y estrategia. Centro de Estudios de Competitividad del ITAM, 2004

Estructura de la industria automotriz en México



Fuente: Elaboración propia con información de la INA. 2007

El sector automotriz, ha pasado de ser una industria orientada al mercado nacional, a ser una industria altamente exportadora vinculada al mercado de América del Norte. A partir de la entrada en vigor del TLCAN la mayor parte de la producción se destina al mercado de exportación. El 77.7% del total de vehículos producidos en México durante 2006 se destinó a la exportación.

Situación actual relacionada con la mecatrónica

En el sector automotriz se observó el nivel de automatización más alto de todos los sectores visitados. La industria cuenta con tecnología de punta para llevar a cabo sus productos, y el personal encargado de las áreas de producción cuentan con la capacitación necesaria para la operación de los equipos.

En cuanto a las tecnologías empleadas, se observaron sistemas de corte totalmente automáticos y tele operados, donde los traslados entre proceso y proceso se llevan a cabo por robots angulares con precisión y velocidad considerables.



Dentro de este sector se ve también la necesidad de que en México existan un mayor número de empresas que puedan brindar mantenimiento a equipo de alta tecnología. Actualmente se pagan costos muy elevados a los fabricantes por realizar reparaciones, o cambios en las operaciones. Se detectó también la necesidad de contar con un centro de diseño que sea capaz de automatizar y proveer interfaz a los sistemas informáticos.

En lo que se refiere al eslabonamiento productivo, este sector es el más completo de los visitados y en prácticamente todos los eslabones se cuentan con automatismos de punta que son operados por ingenieros mexicanos quienes en varias ocasiones dominan a tal grado dichas tecnologías que se pudieron observar mejoras en equipos y procesos, lo que apoya la teoría de la basta capacidad de los ingenieros nacionales.

En materia de proveeduría nacional, se detectaron grandes segmentos de oportunidad e inclusive se detectaron pequeñas compañías que han logrado introducirse como parte de los eslabones de la cadena productiva y que requieren de elementos mecatrónicos en sus procesos de transformación que hagan más eficiente su transformación que les permita mayor competitividad.



SECTOR AEROESPACIAL

México se ha convertido en un destino atractivo para las inversiones del sector aeronáutico, actualmente es un sector que genera más de 20 mil empleos entre 140 empresas aeroespaciales producen componentes y piezas para firmas multinacionales, estas empresas están localizadas principalmente en 14 estados del país, en Baja California el sector aeronáutico esta conformado por 48 empresas que generan más de 12 mil 500 empleos.

Actualmente se tiene un enfoque en tres etapas para el desarrollo de esta industria en México.

- 1.- Consolidación de las capacidades actuales.
- 2.- Manufactura de partes y subestructuras más complejas axial como servicios de ingeniería.
- 3.- Ensamble total de aeronaves en los próximos 4 a 6 años.

México se encuentra en el segundo de los puntos anteriores. Sin embargo están surgiendo centros de I+D en esta materia, la mayoría están concentrándose en los lugares con mayores recursos humanos capacitados.

Centros de I+D aeronáuticos en México					
Chihuahua	Nuevo León	Querétaro	Ciudad de México	Jalsico	Baja California
	Icktar	CIATEQ	Instituto Politécnico Nacional ESIME, UP-Ticomán	Global Advantage Design Source	Honeywell System Integration Lab & Test Annex
Capsonic Aerospace	Corporación EG. Product Engineering Solutions	GE-CIAT	Instituto de Ingeniería de la UNAM	Soluciones Tecnológicas	Volare Engineering
		Outsourcing Engineering Services		AVNTK	
				Hydra Technologies	

Fuente: Elaboración propia, 2007

La empresa Bombardier Aerospace inicio operaciones en México manufacturando fuselajes para el avión Challenger 850 y arneses, y durante el 2008 incluirá la manufactura de colas y estabilizadores del Q400 turboprop.

Honeywell esta construyendo un Laboratorio y Prueba de Sistemas de Integración, así como componentes de turbinas -300 y 100 técnicos especializados.

En el 2007 se inauguro la ensambladora de aeroplanos de Hawker-Beechcraft

en Chihuahua, Chihuahua, la cual genera 250 nuevos empleos con una inversión de 10 millones de dólares.

De acuerdo a la Secretaría de Economía, en 2006 la inversión en este sector fue de 450 millones de dólares.

Localización de la industria aeroespacial en México

La industria aeroespacial tiene presencia en los siguientes estados de la República Mexicana:

- Aguascalientes
- Baja California
- Chihuahua
- Coahuila
- Estado de México
- Jalisco
- México, D.F
- Nuevo León
- Puebla, Querétaro
- San Luis Potosí
- Sonora
- Yucatán.



Las exportaciones del sector aeronáutico en México por concepto de partes y componentes, en el 2006 generaron \$400 millones de dólares, mientras que la inversión destinada por el sector en el mismo año sumó alrededor de 370 millones de dólares.

Para México este sector es una industria maquiladora donde se producen desde tornillos, cables, condensadores, sistemas de combustible, estabilizadores, tuercas, partes eléctricas, hasta piezas para motores y piezas para turbinas, estos productos se exportan principalmente a Estados Unidos y Europa.

La Federación Internacional de Trabajadores de las Industrias Metalúrgicas (FITIM) estima que hasta 2020, se fabricarán de 15 mil a 15 mil 550 nuevos aviones por un valor total de 1.3 trillones de dólares.

Uno de los requisitos para la manufactura de partes aeroespaciales es que todas las piezas y componentes deben certificarse y cumplir con requisitos de diseño determinados por los países en donde se fabrican los aviones o motores.

Para impulsar la instalación de fábricas de manufacturas, México participa desde el 2004 en un convenio con Estados Unidos llamado Bilateral Aviation Safety Agreement (BASA), y en otro similar con Canadá, con el objeto de tener



mayor colaboración para la certificación de piezas aéreas producidas en nuestro país.

En la actualidad, Estados Unidos es el mayor productor de aviones y componentes aeroespaciales en el mundo al controlar más de 50% del mercado mundial, seguido por Europa con 35%, Asia y Latinoamérica (principalmente Brasil) con 15 por ciento.

Es importante mencionar que la industria aeroespacial en Estados Unidos corresponde a 8% del PIB nacional, es considerado un sector primordial pues involucra la seguridad nacional.

Situación actual relacionada con la mecatrónica

Este sector en México es el más reciente, y sorpresivamente se encontró que no existían sistemas totalmente automáticos en el proceso de transformación principal, aunque si cuentan con tecnología de punta en máquinas herramientas de apoyo como lo son maquinados de alta precisión.

Lo anterior, a decir de los entrevistados obedece a que, en principio están llegando a nuestro país los sistemas de ensamblaje donde se requiere de mucha mano de obra, lo que abre una brecha de oportunidad excelente para incrustar a grupos mecatrónicos que demuestren las capacidades y adopten las tecnologías conforme vayan apareciendo en nuestro país, suponiendo que en este sector se den ciclos parecidos a los presentados por el sector automotriz donde las primeras plantas en llegar a México eran de mano de obra intensiva y poco a poco las fueron desplazando empresas con altos grados de automatización en sus diversos procesos industriales.



SECTOR MÉDICO

Situación actual relacionada con la mecatrónica

Los procesos requeridos para la transformación de productos destinados al uso médico obligan a controles de calidad con estándares muy elevados, lo que obliga a que el equipo periférico incluya elementos de automatización y control.

Sin embargo, los modelos de los productos terminados son tan variados que en gran parte de las operaciones de ensamble de componentes requieren de mano de obra intensiva y calificada, esto abre una brecha amplia para diseño y fabricación de equipos de prueba con elementos mecatrónicos ad hoc a las necesidades de cada compañía.

En esta industria la innovación, investigación y desarrollo es poca, debido principalmente, a que el sector público es su principal cliente de equipo y aparato médico, su demanda se ciñe a una tecnología básica y esto ha provocado que la industria médica enfrente una compleja situación, las empresas no fabrican equipos más sofisticados porque no habrá quién se los compre, así que se limitan a producir lo que el mercado demanda con tecnología muy sencilla. Cabe aclarar que esta situación se presentó en las empresas visitadas en la muestra, quienes tienen por clientes a empresas nacionales y extranjeras que les solicitan equipos médicos de sencillo ensamble o de productos y equipos médicos sencillos como guantes de látex, Partes de plástico que se ensamblan para conformar piezas de catéteres, etc. o, en el mejor de los casos, de cuneros para las secciones de recién nacidos del sector hospitalario oficial.

Al igual que en otros de los sectores industriales visitados, la automatización en los procesos de empaque y embalaje es prácticamente nula.



SECTOR AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

Situación actual relacionada con la mecatrónica

Desafortunadamente son pocas las empresas que a nivel nacional producen o fabrican elementos de automatización y control, y las que se localizaron son de capital extranjero y con presencia en prácticamente todas las ciudades visitadas. Sin embargo si se encuentran en mayor cantidad, empresas que comercializan productos para la automatización.

A continuación se enlistan empresas que se dedican a la automatización y control, comercialización de productos para automatización y para actividades relacionadas con la mecatrónica, algunas de ellas integran, otras revenden equipos, otras fabrican parte de la infraestructura de automatización:

1. AVANZADOS SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN
2. SERVICIOS DE AUTOMATIZACION Y CONTROL
3. AMPERE
4. CONTROL HIDRONEUMATICO
5. ELECTROEQUIPOS Y ACCESORIOS
6. GEORG FISCHER
7. ERAT
8. MITSUBISHI ELECTRIC AUT
9. DOMINION INDUSTRIAL
10. SEGURIDAD Y CONTROL
11. INGENIERIA Y AUTOMATIZACION TOTAL
12. PRODUCTOS JJM
13. DIICSA
14. MITSUBISHI ELECTRIC AUTOMATION
15. NOTISEG
16. ROMI HIDRONEUMATICA
17. DESARROLLOS DIGITALES
18. FESTO AUTOMATIZACION
19. FRENAR
20. MELCSA
21. PILLAR MEXICANA
22. SMC CORPORATION (MEXICO)
23. SUHNER PRODUCTOS INDUSTRIALES MEXICANOS
24. SCHNEIDER ELECTRIC MEXICO
25. ABB MEXICO
26. AFISA MATIC
27. ALFA AUTOMATIZACION
28. INSTRUMENTACION Y CONTROL
29. APLICACIONES INDUSTRIALES AVANZADAS
30. AUTOMATIZACION E IMPLEMENTACION DE CONTROLES INDUSTRIALES
31. AUTOMATIZACION ESPECIALIZADA Y ELEMENTOS DE CONTROL
32. BALPER INSTALACIONES
33. BAUER ELECTRONICA
34. BEYTON
35. BYSTRONIC
36. CCA CORPORATION
37. CENTRO DE INGENIERIA Y DESARROLLO INDUSTRIAL
38. CENTRO DE SERVICIO HIDRAULICO CESEHSA
39. COMBUSTION AUTOMATIZACION INDUSTRIAL
40. CONTROL FR
41. CONTROL HIDRAULICO Y AUTOMATIZACION



42. CONVEYORS AND AUTOMATION SYSTEMS
43. CONVEYORS PACHECO
44. DELTA ELECTRONICS
45. DISTRIBUIDORA PAC DE OCCIDENTE
46. DOSEME INTERNACIONAL
47. DOVE EQUIPMENT
48. EATON ELECTRICAL MEXICANA
49. ELECTRO CONTROLES INDUSTRIALES
50. ELECTRO H MECANICA INDUSTRIAL
51. EMERSON PROCESS MANAGEMENT
52. EQUIPOS Y SOLDADURAS RAPE
53. EXECUTONE DE MONTERREY
54. HERRAMIENTAS EXCLUSIVAS Y MAQUINARIA
55. HONEYWELL
56. HORTON/NEXEN GROUP
57. IMEM TRANSFORMADORES INTERNACIONALES
58. INSTRUMENTACION Y CONTROL 22
59. INSTRUMENTACION Y SISTEMAS AVANZADOS
60. LASSO
61. LOVATO ELECTRIC
62. LS INTEGRACION EN CONTROL Y AUTOMATIZACION
63. MAKEL MEXICO
64. MECATRONICA Y SISTEMAS APLICADOS
65. MERCADO MACHINERY
66. MOELLER ELECTRIC
67. OMEGA ENGINEERING
68. PHOENIX CONTACT
69. PILZ DE MEXICO
70. PROYECTOS DE AUTOMATIZACIONES Y COMUNICACIONES
71. RIPIPSA
72. ROBOTICA E INSTRUMENTACION INDUSTRIAL
73. ROCKWELL AUTOMATION DE MEXICO
74. SAITEC INTERNACIONAL
75. SERVICIOS INDUSTRIALES Y AUTOMATIZACION
76. SERVITEK
77. SIEMENS
78. SIMEX
79. SISCOMV TECNOLOGIA AVANZADA
80. SISTEMAS DE AUTOMATIZACION Y CONTROL DEL CENTRO
81. SOPORTE DINAMICO INDUSTRIAL
82. SUMINISTROS INDUSTRIALES ESPECIALES
83. SUMINISTROS Y SERVICIOS INTEGRALES ESPECIALIZADOS
84. SYNCHRO PORT MEXICO
85. TECNICAS PREDICTIVAS PROACTIVAS DE MANTENIMIENTO INTEGRAL
86. TECNO JAR
87. TURCK MEXICO
88. VIDEO ACCES CONTROL
89. WAGO CORP.
90. WEG-MARESA AUTOMATIZACION CONTROL COMANDO Y PROTECCION
91. WEIDMULLER
92. YUZEB

Las empresas que integran los elementos necesarios para dar respuestas integrales a sus clientes son pocas, dichas empresas incluyen no solo las partes, sin los diseños, la capacitación, etc. Se convierten en los referentes obligados cuando las empresas requieren de proveedores locales en este tema.



Algunos de los entrevistados que son clientes de estas compañías nos indicaron que el hecho de que sean pocas provoca una distorsión natural en los precios de los insumos que éstas les proveen, lo que dificulta la entrada de compañías que adquieran los insumos para, con sus propios diseños, entregar equipos terminados de automatización y control por una cuestión mas de economías de escala que de conocimiento técnico.

Otro aspecto a resaltar es que a pesar de la distorsión en los precios por economías de escala, estas empresas han logrado posicionarse con éxito en el mercado, ya que demuestran que la automatización en procesos de transformación disminuye costos de producción para quienes lo adoptan y aunque el retorno a la inversión se da en plazos mas largos las empresas lo amortizan, lo que plantea la posibilidad de mayores ahorros si se tuviera una mayor demanda de estos productos que obligara a la aparición de mas compañías en nuestro mercado mexicano.

RESUMEN DE LA SITUACIÓN DE LOS SECTORES INDUSTRIALES EN MÉXICO

Los siguientes gráficos son derivados de la investigación de campo, en ellos se muestra la situación actual y la situación potencial para cada sector, permitiendo identificar los nichos en donde México tiene oportunidad de mercado para tecnologías avanzadas que serían desarrolladas en México.



- Si analizamos los resultados de las visitas efectuadas a las empresas de cada sector y las ubicamos conjuntando la necesidad actual de uso de herramientas mecánicas v.s. la oportunidad que brindarían a desarrolladores mecánicos mexicanos, observaremos que es el sector automotriz el mejor situado en este contexto

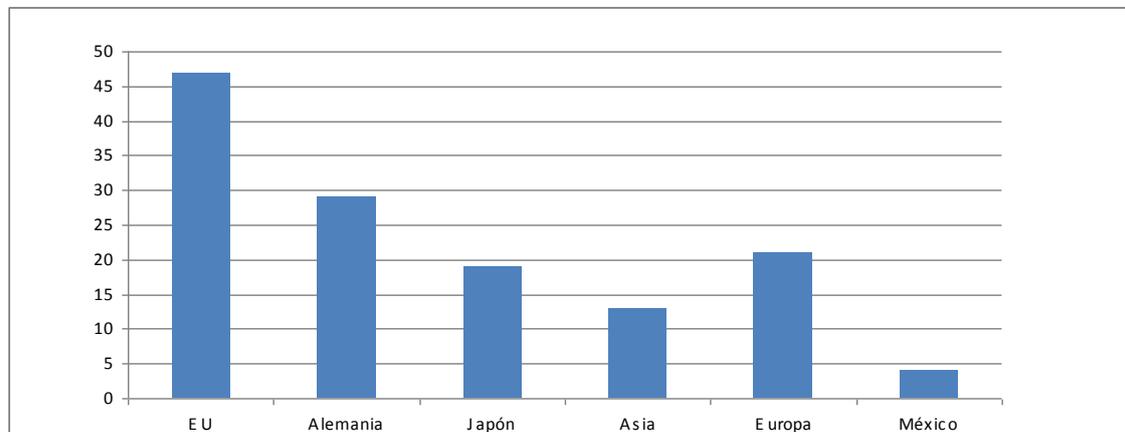
Fuente: Elaboración propia con información de la investigación de campo

La gráfica anterior se desarrolló tomando en cuenta la opinión de las empresas visitadas de cada sector, atendiendo principalmente a la respuesta de cuestionamientos como:

- Nivel de automatización de los procesos de fabricación actuales
- Uso de tecnologías como Robots, brazos mecánicos, etc.
- Áreas de oportunidad detectadas actualmente donde la automatización y control pudieran incidir en una mejora en la eficiencia de la producción
- Que posibilidad hay de que acepten herramientas mecánicas desarrolladas por proveedores nacionales.

Las siguientes gráficas se obtuvieron con la información recabada durante la investigación de campo:

Origen de las tecnologías presentes en las empresas



De las empresas visitadas en la muestra, se desprende el origen de las tecnologías que utilizan para sus procesos productos según los países donde son adquiridas.

En el caso de las que provienen de México, son aquellos equipos integrados aunque no sean equipos de patente.

Cabe destacar que los tres países principales de donde se importa maquinaria y equipo mecatrónico son: Estados Unidos, Alemania y Japón y que las de origen Chino no han logrado penetrar significativamente en nuestro mercado.

Como se menciona en este estudio, 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.

En las siguientes gráficas donde se desagrega el origen de las tecnologías por sector resalta la nula participación de equipos integrados desarrollados por mexicanos en el ramo aeroespacial y eléctrico.

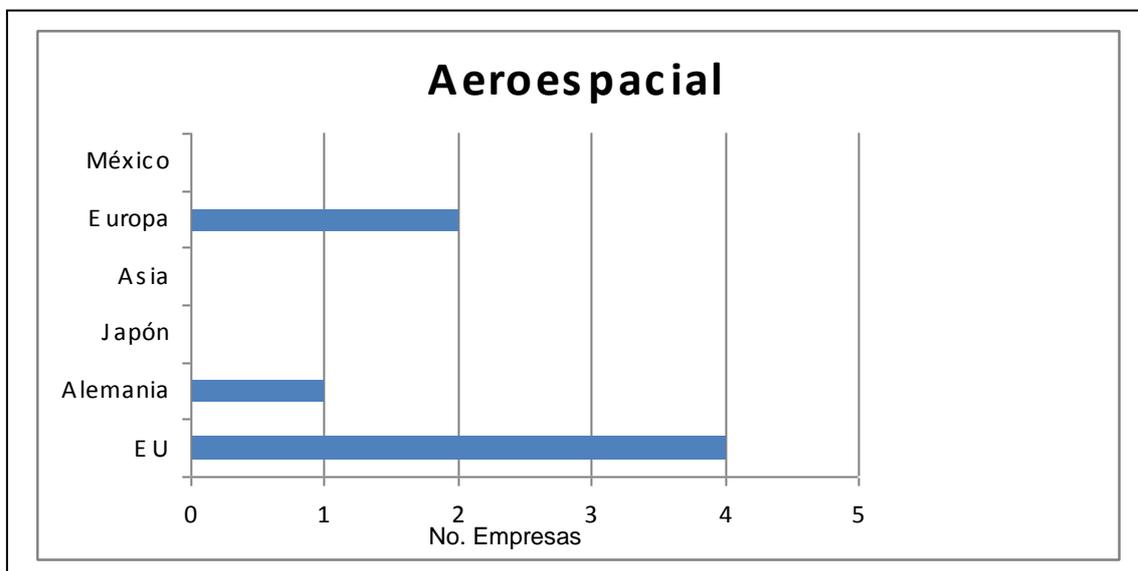
Destaca también que la mayor presencia de equipo mecatrónico integrado desarrollado por mexicanos se da en el sector de automatización y control, esto debido a que son la mayoría mexicanos los que laboran en las pocas compañías que suministran dispositivos de esta naturaleza.

Otro aspecto a resaltar es que en el sector automotriz se detectaron las mayores demandas de soluciones a sistemas mecatrónicos de parte de las empresas, así como la apertura para contratar tecnologías mexicanas vía proveedores o comercializadores locales que les brinden soluciones integrales.

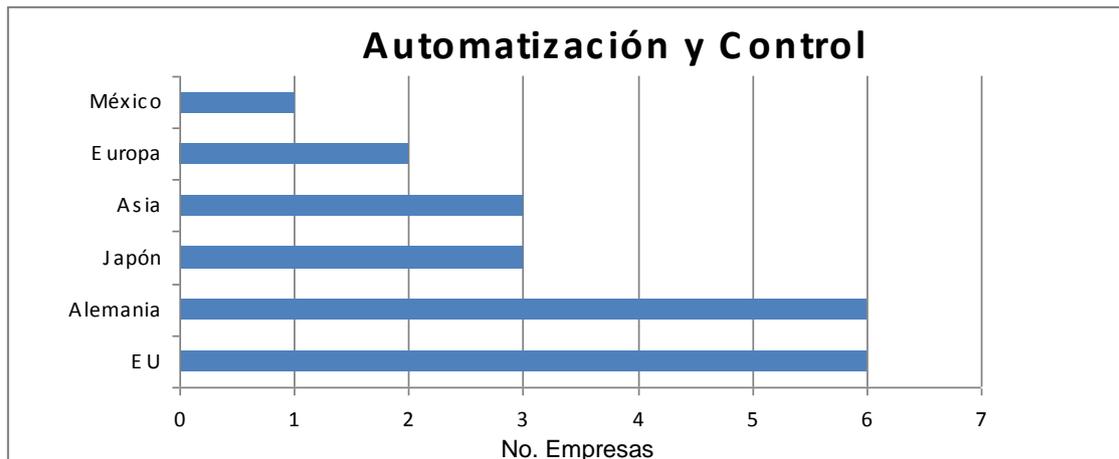
Se detectaron casos donde empresas maquiladoras piden a sus áreas de ingeniería y diseño o de investigación y desarrollo que den soluciones que hagan mas eficientes sus procesos productivos y de donde se han desprendido diseños realizados por mexicanos de equipos mecatrónicos que han sido replicados para enviarlos a compañías filiales instaladas inclusive en el país de origen de la compañía, lo que ha roto el paradigma de la capacidad de desarrollo de nuestros conacionales

Origen de tecnología por sector

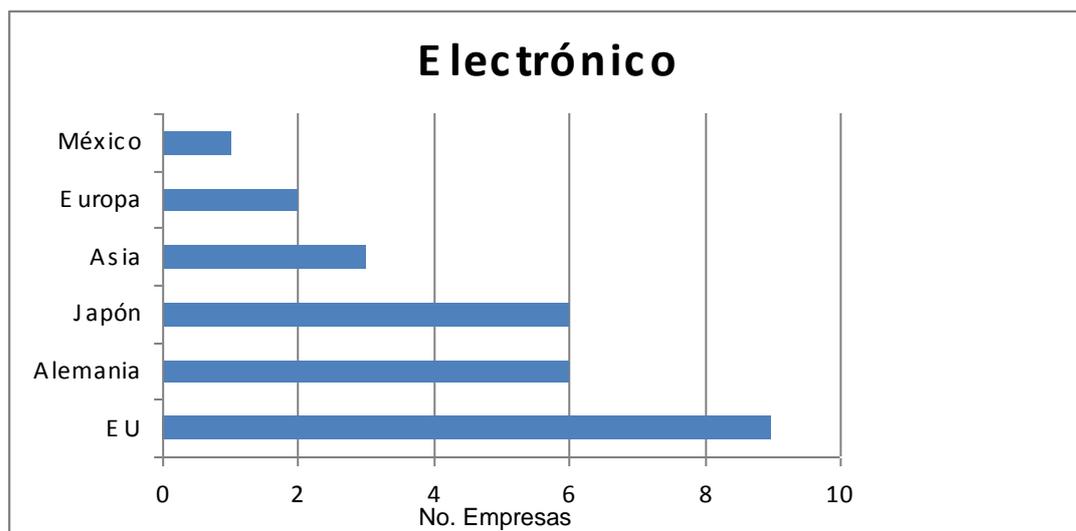
En el sector aeroespacial, la tecnología avanzada proviene principalmente de Estados Unidos y Europa, Japón y Asia no participan en este sector.



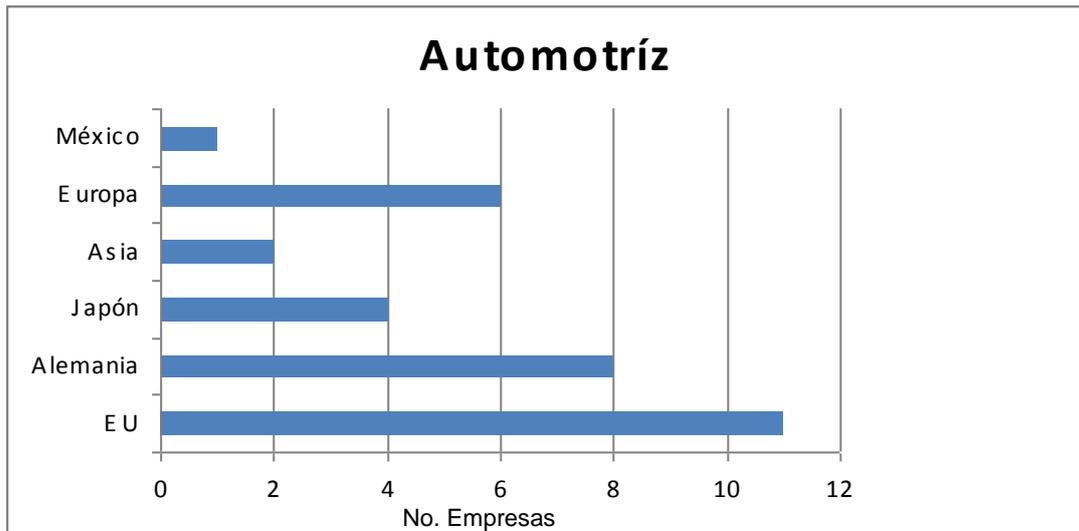
Las empresas de automatización y control tienen tecnologías provenientes de Estados Unidos y Alemania, en este sector se tiene la oportunidad de incluir tecnología desarrollada en México y comercializarla.



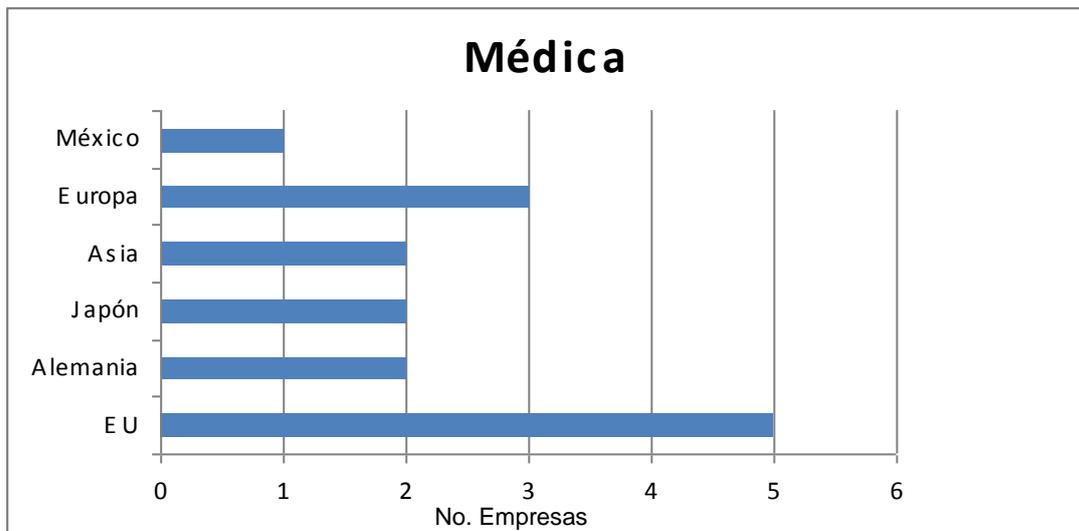
En el sector electrónico también predomina la tecnología de Estados Unidos como mayormente, seguida de tecnologías de Japón y Alemania, la presencia de tecnologías desarrolladas por mexicanos también se da en este sector.



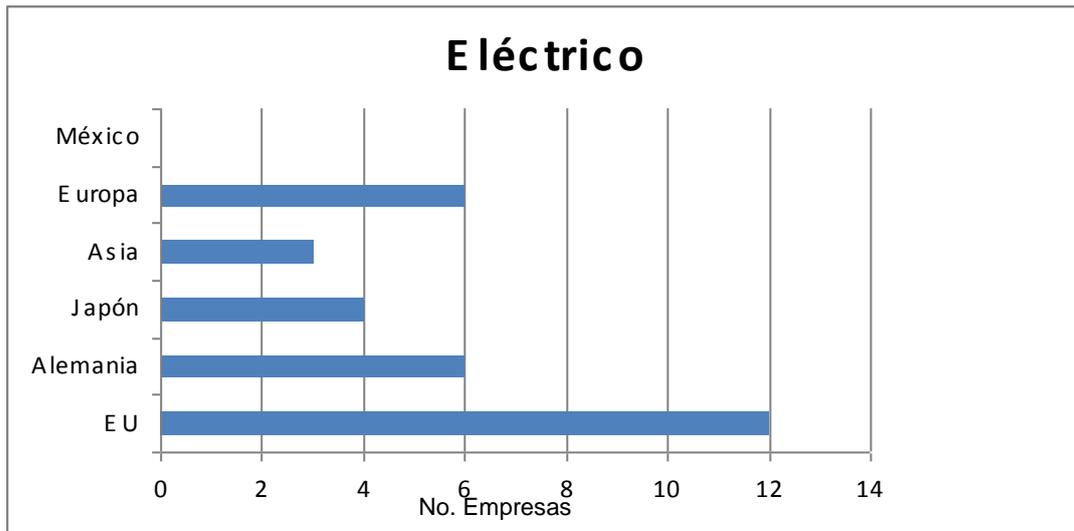
En el sector automotriz las tecnologías provienen de EUA y Europa, principalmente de Alemania.



En la industria médica Estados Unidos es también el principal proveedor, sin embargo se tienen tecnologías también de Alemania, Japón, Asia, Europa y México.

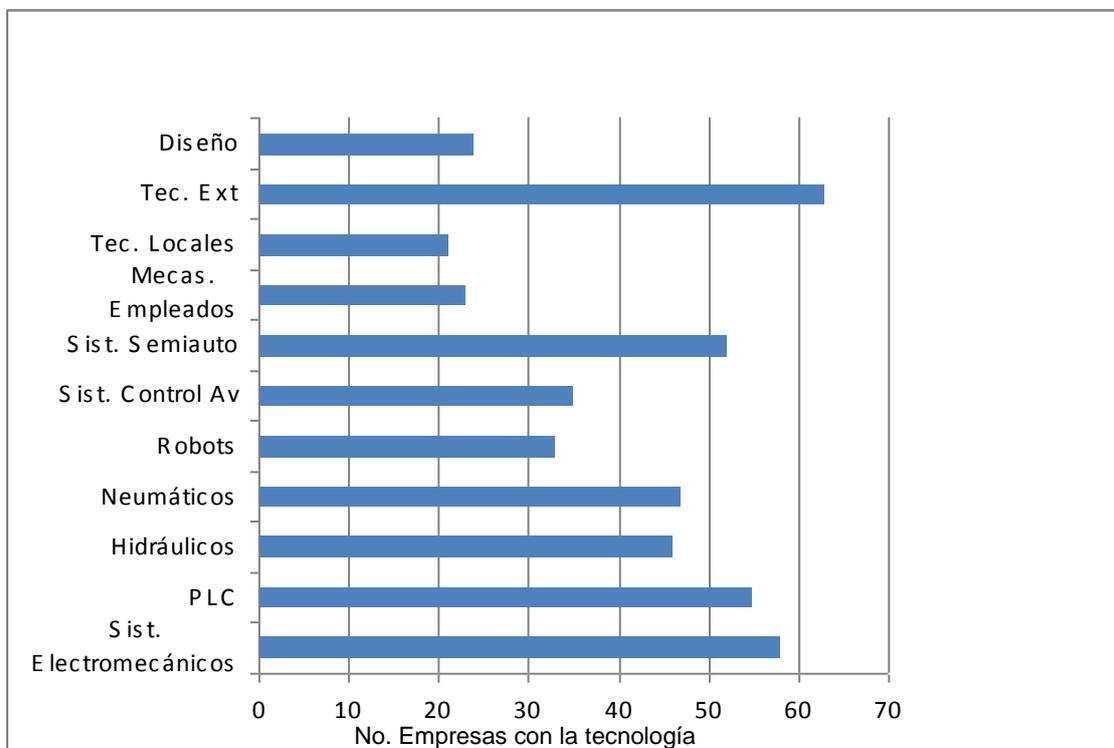


En el sector eléctrico se encuentra la presencia de tecnologías de EUA, Europa, Alemania y Japón.



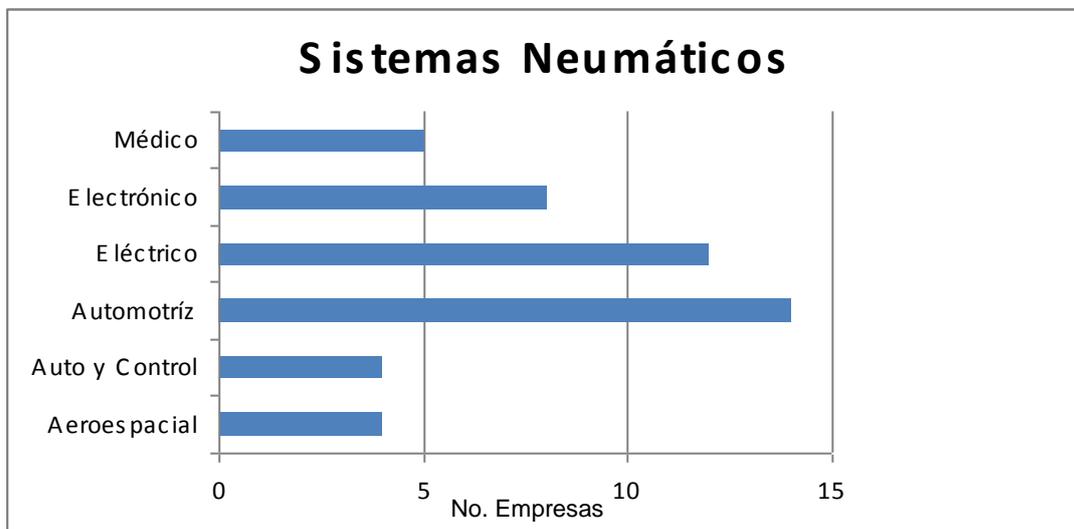
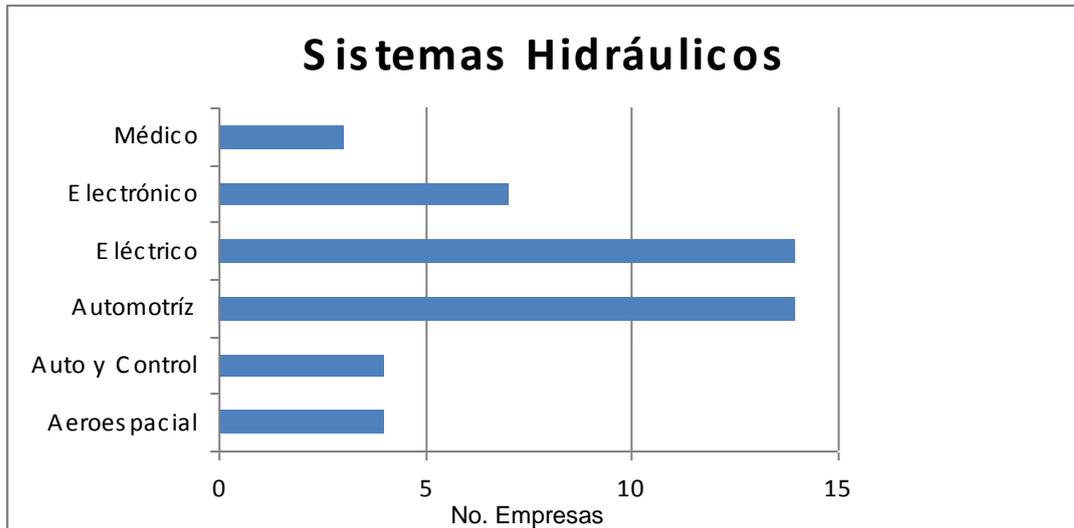
En la siguiente grafica se observa que las tecnologías avanzadas que con mayor frecuencia se utilizan en las empresas de la muestra son los sistemas electromecánicos, PLC y sistemas semiautomáticos. Los robots y sistemas de control avanzados son los que aparecen con menor frecuencia. También se refleja que la mayoría son tecnologías extranjeras.

Presencia de tecnologías avanzadas



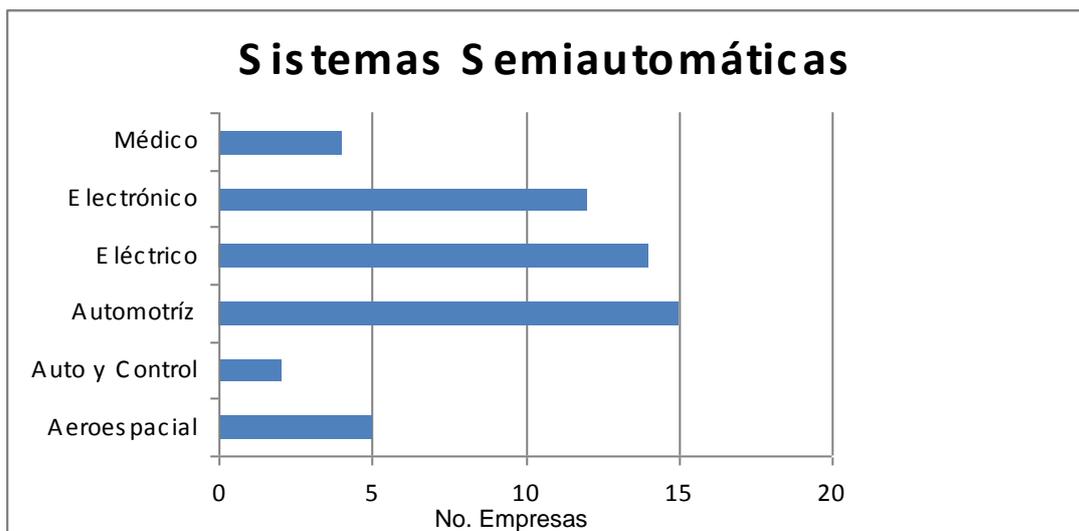
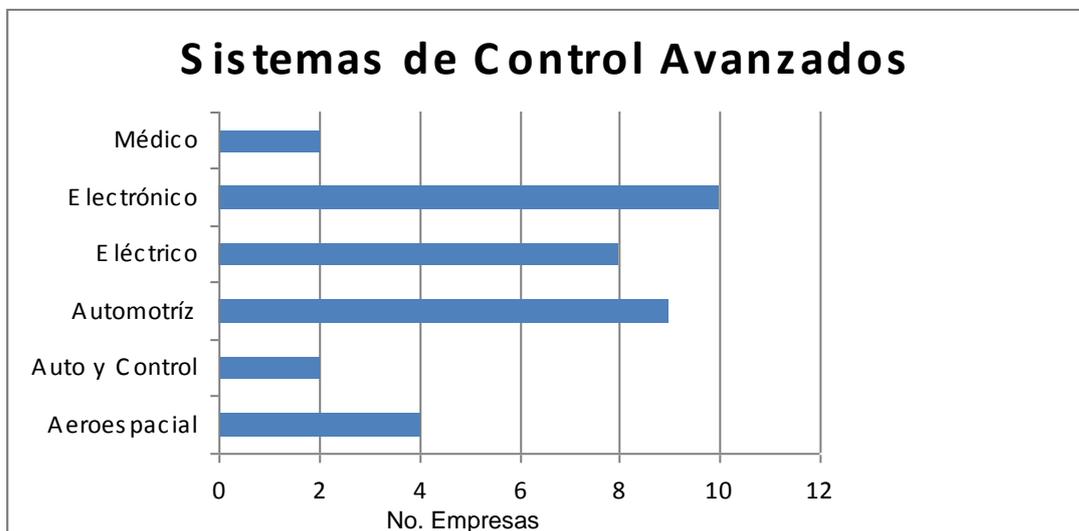
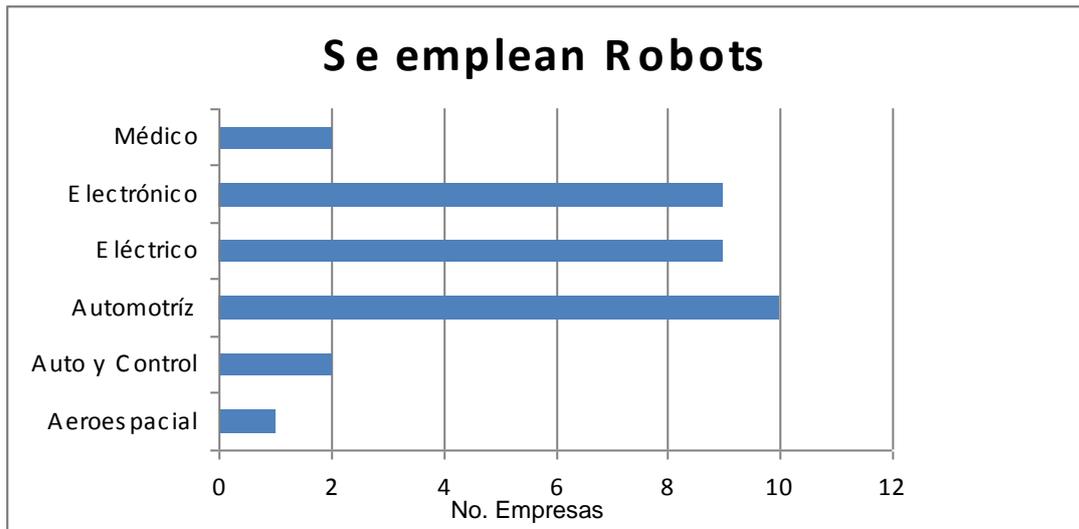
Por otro lado en la gráfica anterior se refleja la contratación de ingenieros mecánicos, menos de la mitad de la muestra de empresas tiene contratados a ingenieros mecánicos.

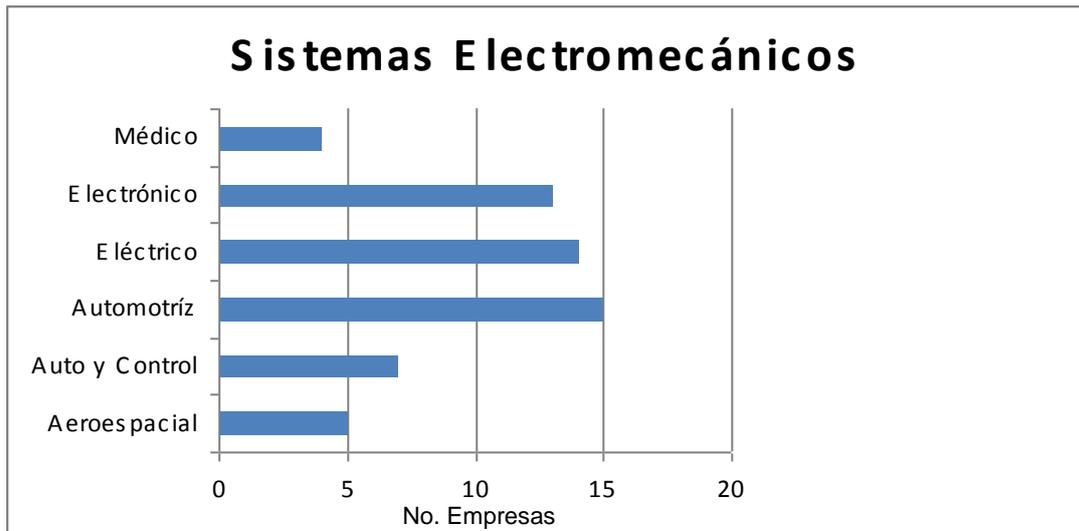
Los sistemas hidráulicos y neumáticos se utilizan principalmente en los sectores eléctrico y automotriz.



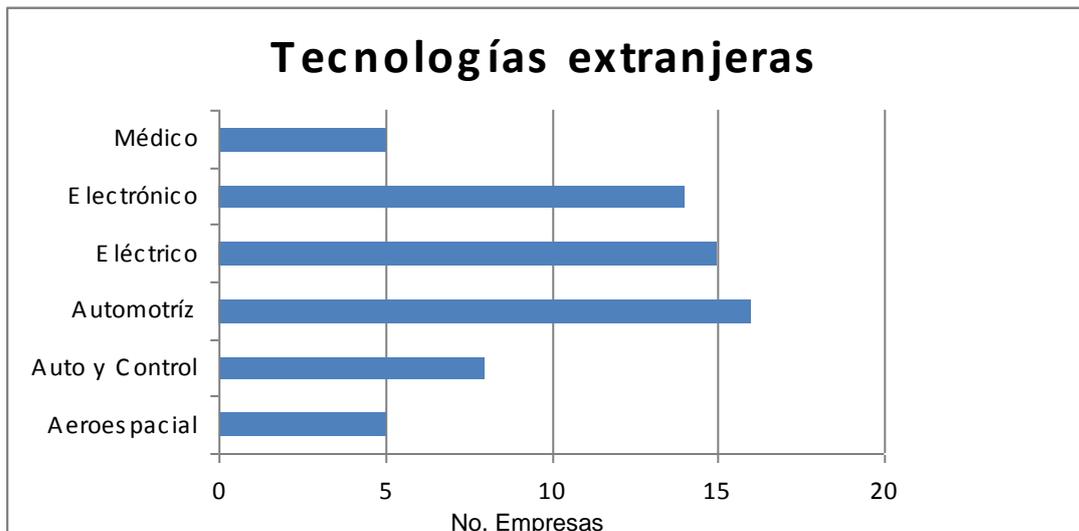
Por otro lado los sistemas semiautomáticos, electromecánicos, de control automático y los robots raramente se utilizan en los sectores aeroespacial, médico y de automatización y control. Estas tecnologías se encuentran presentes en los sectores electrónico, eléctrico y automotriz.

El sector automotriz es el que mayor presencia de tecnologías avanzadas posee, por lo tanto es considerado como el sector que mayor Mecatrónica utiliza.

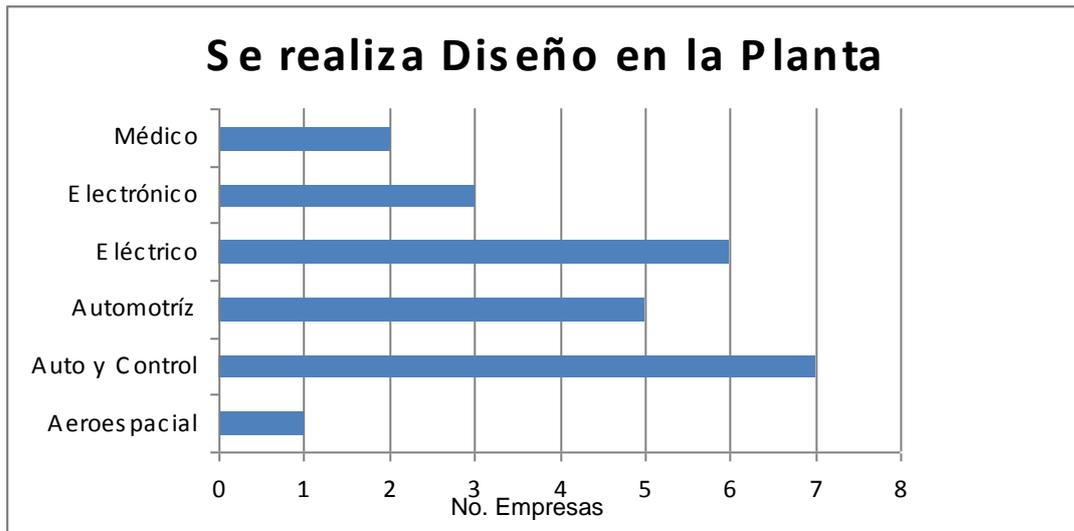




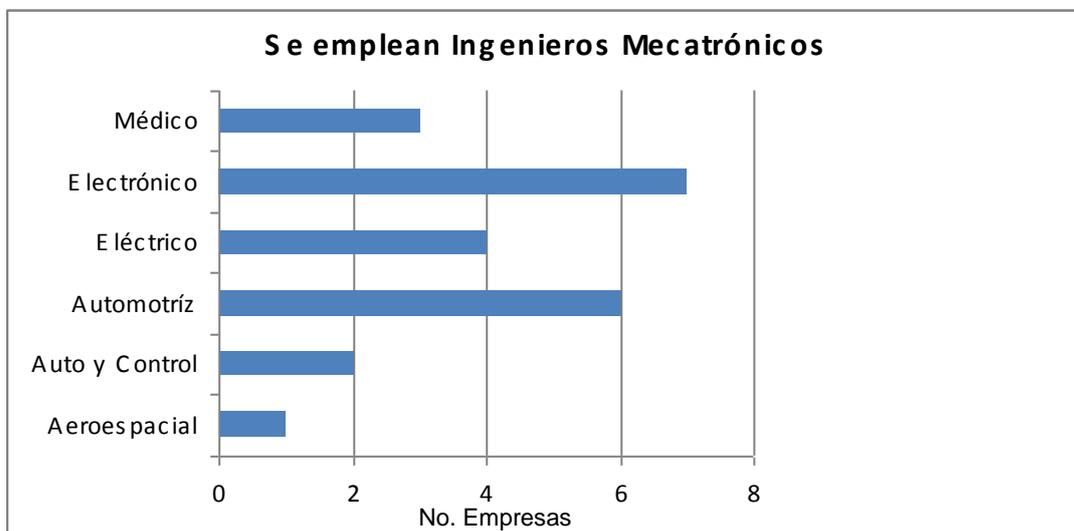
Las tecnologías extranjeras están presentes sobre todo en los sectores más automatizados, electrónico, eléctrico y automotriz.



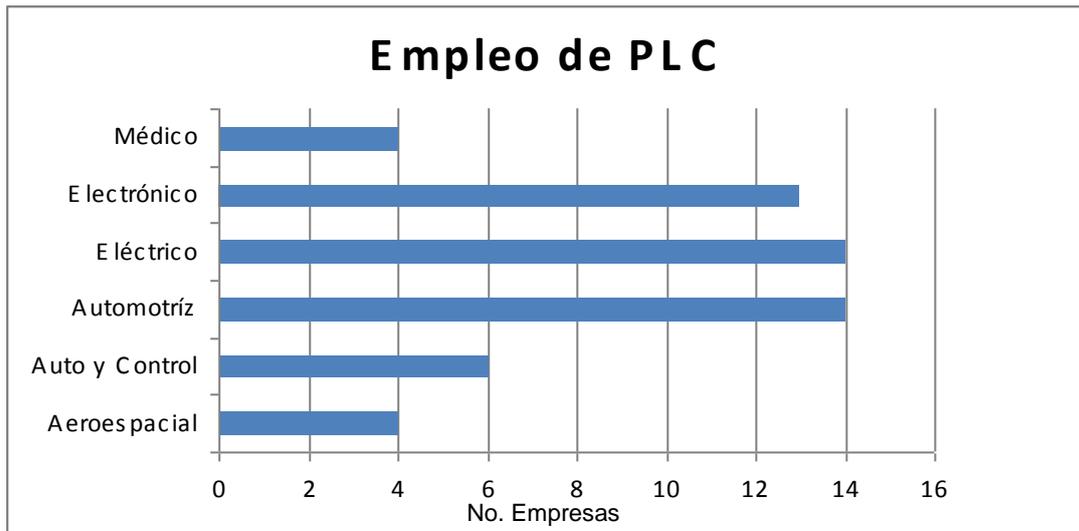
Los sectores donde se realizan con más frecuencia diseños en planta son automatización y control y eléctrico.



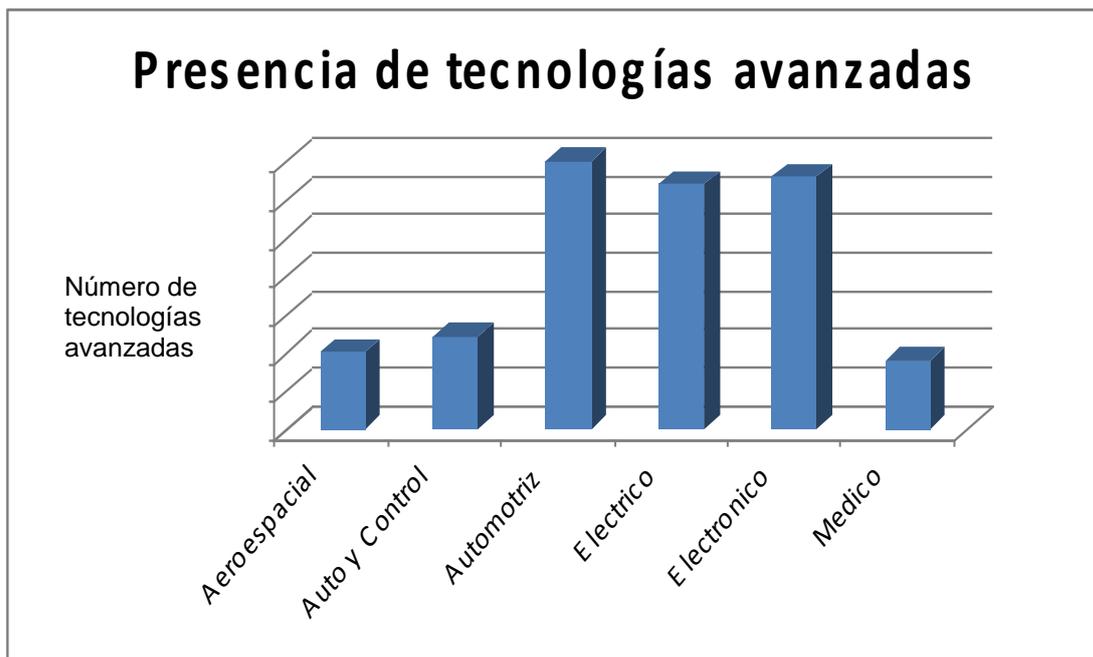
La industria electrónica es la que ocupa ingenieros mecatrónicos con mayor intensidad.



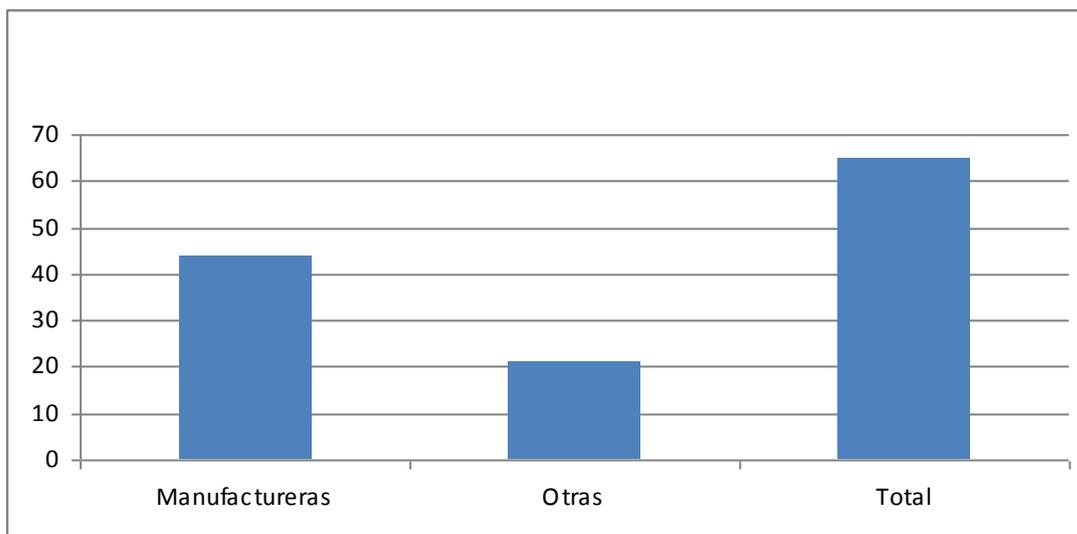
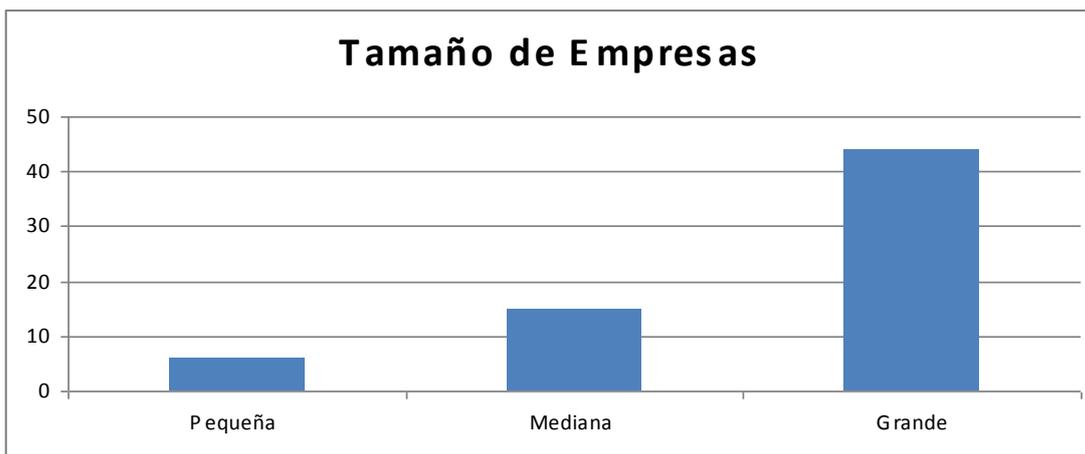
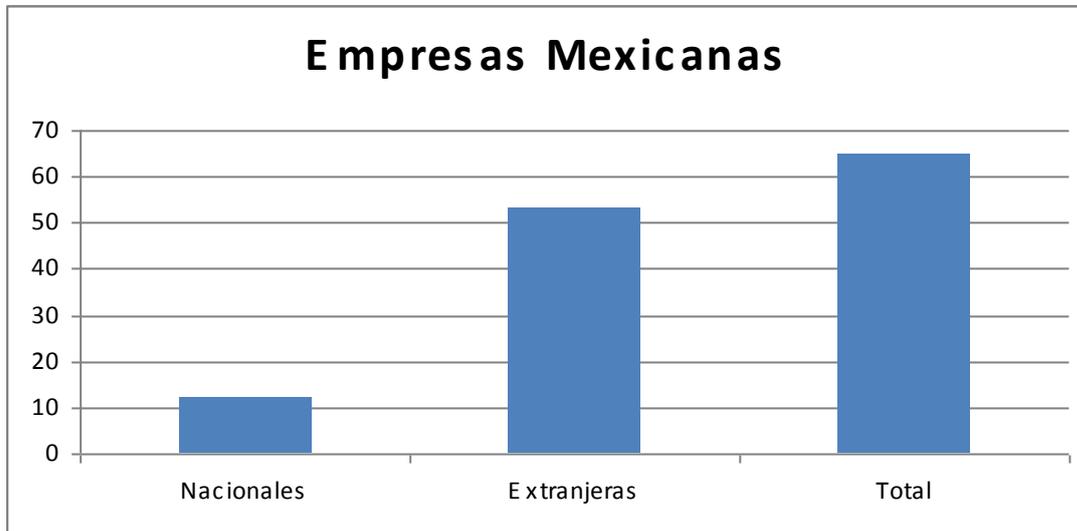
El empleo de PLC's está presente principalmente en las industrias automotriz, eléctrica y electrónica.



En resumen, la siguiente es una gráfica de los sectores con tecnologías más avanzadas.

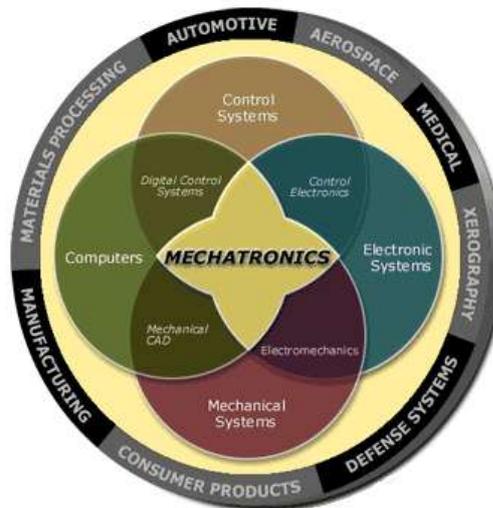


Clasificación de las empresas de la muestra



c. Relación de la mecatrónica con otras tecnologías y su interacción con otros eslabones de las cadenas productivas.

La industria actual prevalece gracias a la calidad de sus productos, la velocidad de producción y la uniformidad. Como todo proceso va en constante cambio, siempre se irá requiriendo de nuevas implementaciones tecnológicas que basadas en estos factores, incrementen la competitividad de las empresas. Es así como en años recientes, surge la Mecatrónica.



Fuente: Rensselaer Polytechnic Institute

Las áreas clave donde la aplicación de la Mecatrónica pertenece a nuevas tecnologías que se encuentran en plena etapa de desarrollo e innovación.

- Automatización Industrial
- Robótica
- Diseño asistido por computadora
- Manufactura asistida por computadora
- Sistemas Flexibles de Manufactura
- Redes de Comunicación Industrial
- Control Numérico Computarizado
- Microprocesadores y Microcontroladores
- Control Inteligente
- Biomecánica



El desarrollo y aplicación de la Mecatrónica, requiere de una integración interdisciplinaria con otras tecnologías de distinta índole, entre las que destacan:

Física

- Química
- Matemáticas
- Materiales
- Mecánica
- Automatización
- Control de Procesos
- Electricidad
- Electrónica
- Computación
- Administración
- Tecnologías de Información
- Sistemas
- Inteligencia Artificial

En su conjunto, la Ingeniería Mecatrónica otorga una ventaja competitiva a estas tecnologías y un valor agregado a la cadena de valor basada en Mecatrónica. Esta disciplina representa la nueva generación de servo máquinas, y mecanismos inteligentes así como metodologías de ingeniería concurrentes que impactan en otro tipo de sistemas físicos, como interfaces hombre maquina, procesos, etcétera. Esencialmente Ingeniería Mecatrónica es Ingeniería Concurrente, que combina sinérgicamente componentes de diversa naturaleza y los integra simbióticamente para construir nuevos procesos y productos más competitivos. Estos componentes se interrelacionan e imponen especificaciones y funciones sobre los demás componentes en cada etapa de diseño y construcción, por lo que un sistema mecatrónico tiene el distintivo de haber sido diseñado y construido en todas sus etapas con el paradigma de ingeniería concurrente.

En particular un sistema mecatrónico incorpora automatización reactiva e inteligente basada en sensores proceptivos y un procesador para la toma de decisiones, por lo que la micro electrónica y la informática juegan un papel fundamental, mientras que el proceso de diseño depende fuertemente de modernas herramientas de software. Así entonces, la importancia de la ingeniería mecatrónica reside en que permite la concepción de la solución, la ingeniería básica, la ingeniería de detalle, el diseño, construcción, integración, el control, la puesta en marcha y validación en campo bajo normas y pruebas protocolarias. Ingeniería concurrente, ó mecatrónica, permite realizar la nueva generación de sistemas en un mercado globalizado cada vez más competitivo. Con esto se logra realizar tareas impensables hace unos años de lograr con un enfoque tradicional de hacer proyectos de ingeniería, debido a que se requiere tomar en cuenta simultáneamente todos los requerimientos y restricciones de todos los elementos (mecánicos, electrónicos, eléctricos, computacionales, traductores y control) de un sistema para lograr cumplir los altos estándares de precisión, repetibilidad, robustez, calidad, y cantidad.



La mecatrónica está centrada en mecanismos, componentes electrónicos y módulos de computación, los cuales combinados hacen posible la generación de sistemas más flexibles, versátiles, económicos, fiables y simples.

El principal propósito de este campo de la ingeniería interdisciplinaria es el estudio de lo autómatas y ser de utilidad a sistemas híbridos de control como los de producción, robots de exploración planetaria, subsistemas automovilísticos como sistemas antibloqueo, asistentes de giro y equipamientos de todos los días, como cámaras fotográficas de autoenfoco, video, discos rígidos, lectoras de disco compacto, máquinas lavadoras, etcétera.

En un principio se le definió como la integración de la mecánica y la electrónica en una máquina o producto, pero luego se consolidó como una especialidad de la ingeniería e incorporó otros elementos como los sistemas de computación, los desarrollos de la microelectrónica, la inteligencia artificial, la teoría de control y otros relacionados con la informática.

Aunque la robótica forma parte de la mecatrónica, el propósito de esta nueva ingeniería no es sólo fabricar robots, sino lo que los expertos denominan "productos inteligentes", es decir, capaces de procesar información para su funcionamiento, gracias a la instalación de dispositivos y sensores electrónicos especiales.

La información en un producto mecatrónico llega a un conjunto de sensores electrónicos instalados en los aparatos, que van a un sistema especial que la procesa y manda las órdenes a través de lo que se conoce como un actuador, que en muchas máquinas es un motor.

Algunos otros ejemplos de productos mecatrónicos son las secadoras inteligentes, los juguetes y las máquinas de juego, los robots, las máquinas de control numérico, los cajeros electrónicos, las sillas de ruedas que reconocen comandos de voz, los marcapasos, las prótesis, los órganos artificiales, los automóviles equipados con sistemas de encendido electrónico, suspensión activa, control de ruido y emisión de gases, entre otros.

Los productos hechos con ingeniería mecatrónica poseen mecanismos de alta precisión; son controlados por dispositivos electrónicos reprogramables para que funcionen en diferentes condiciones; hacen uso óptimo de los materiales y energía que consumen; los diseños son más estéticos y ergonómicos y tienen lo que se podría llamar una relación inteligente con el medio ambiente.

La mecatrónica es una ingeniería concurrente y paralela, y con una nueva concepción de diseño, es decir, que implica que las etapas de los diferentes procesos de producción se realicen en forma simultánea.

En los 10 años recientes comenzaron a aparecer carreras universitarias con el nombre de mecatrónica, en países como Inglaterra y Finlandia, donde esta especialidad de la ingeniería está muy avanzada. Actualmente existen programas semejantes en Estados Unidos, Japón y algunas naciones de



Europa y América Latina. Curiosamente, aunque Japón es el que tiene los mayores y mejores laboratorios de mecatrónica, no es el que más programas universitarios ofrece.

En América Latina la mecatrónica entró por Brasil, en la Universidad de Sao Paulo, donde se creó el primer programa de pregrado de esta especialidad. Algunas facultades de mecánica y electrónica en Colombia, Argentina, México y Estados Unidos ofrecen ya carreras y especialidades en el campo de la mecatrónica.

La ingeniería mecánica y la electrónica tendrán entonces que reformularse, pues es evidente que sentirán el impacto de la mecatrónica. Se requieren individuos con amplias habilidades en ingeniería, y equipos bien integrados, cuyos miembros traigan una apreciación general de la amplitud del campo tecnológico, tanto como de su propio campo de especialización. Al cabo éstas no son las clases de ingenieros que nuestra tradicional educación en ingeniería (disciplinas separadas) ha estado produciendo.

La mecatrónica forma parte de una de las diez tecnologías avanzadas que cambiarán el mundo (según el MIT):

1. Redes de sensores sin cables (Wireless Sensor Networks)
2. Ingeniería inyectable de tejidos (Injectable Tissue Engineering)
3. Nano-células solares (Nano Solar Cells)
4. **Mecatrónica (Mechatronics)**
5. Sistemas informáticos Grid (Grid Computing)
6. Imágenes moleculares (Molecular Imaging)
7. Litografía Nano-impresión (Nanoimprint Lithography)
8. Software fiable (Software Assurance)
9. Glucomicas (Glycomics)
10. Criptografía Quantum (Quantum Cryptography)

d. Inventario detallado de capacidades en Centros de investigación y desarrollo especializados en mecatrónica.

Oferta de productos y servicios tecnológicos

En cuanto a la oferta tecnológica relacionada con la mecatrónica encontramos que el número de artículos publicados por científicos mexicanos en relación años a la ingeniería, en los últimos 10 creció un 250%, es necesario mencionar también que las publicaciones de ésta área representan el 6% del total de las publicaciones⁴¹.

La oferta de servicios tecnológicos esta determinada principalmente por los Centros de Investigación que declaran hacer mecatrónica.

Institucion	Grupo de Investigación	Lineas de Investigación	Personal Investig.
UNAM	Departamento de Mecatrónica	Diseño para ensamble y manufactura Ingeniería concurrente Diseño de sistemas domóticos Diseño de equipo médico Diseño de control para robots manipuladores	10
ANAHUAC SUR	Coordinación de Mecatrónica	Modelado de sistemas mecatrónicos Desarrollo de productos mecatrónicos Algoritmos de control	
CIDESI	Dirección de Investigación	Control Robótica Modelación y Simulación Visión Artificial	13
CIATEQ	Mecatronica y Sistemas Inteligentes de Manufactura	Manufactura Inteligente Robotica Industrial Inteligencia Artificial Visión Artificial	8
CINVESTAV-IPN	Robotica y Manufactura Avanzada	Robotica Manufactura Vision Artificial	10

Fuente: Elaboración propia

⁴¹ Anexo estadístico del informe general del estado de la ciencia y la tecnología, 2006

Recursos humanos capacitados

Actualmente no existe en México un estudio objetivo que abarque el estado del arte de la Ingeniería Mecatrónica en México, ni siquiera por sectores (académico o industrial), aunque existen estudios acotados y ciertamente sesgados. La percepción del sector productivo acerca de la contribución y especialización del Ing. en Mecatrónica aun no es correctamente apreciada.

Lo mismo las bolsas de trabajo solicitan un “mecatrónico” o un “programador” indistintamente⁴². Es común encontrar anuncios de ofertas de trabajo que requieren ingenieros en mecatrónica en aéreas donde existen empresas de alto valor agregado tecnológico, en particular donde la automatización fija o flexible y en robótica es intensa. Por ejemplo, en Coahuila, parte del clúster automotriz, el periódico Vanguardia publico 3 anuncios diferentes en las últimas 4 semanas, requiriendo ingenieros en mecatrónica.

Actualmente se estima conservadoramente que cada año egresan alrededor de 2,500 estudiantes de mecatrónica de las más de 150 escuelas, en todos los niveles (licenciatura, posgrado y doctorado)

De los cuales, según datos preliminares indican que ni siquiera el 1% de los egresados está ejerciendo esta profesión en la industria, sino que están siendo empleados en ramas afines.

Por un lado tenemos una gran cantidad de egresados de ingenieros y especialistas en Mecatrónica (aunque algunos egresados salen con nivel bajo) de la oferta de instituciones académicas en México, pero por otro lado tenemos muy pocos investigadores activos en Mecatrónica en el país y también muy pocos que aunque no declaren que hacen mecatrónica, si hacen ciertos componentes de sistemas mecatrónicos, como los que hacen sistemas embebidos, diseño de maquinas especiales, servomecanismos.

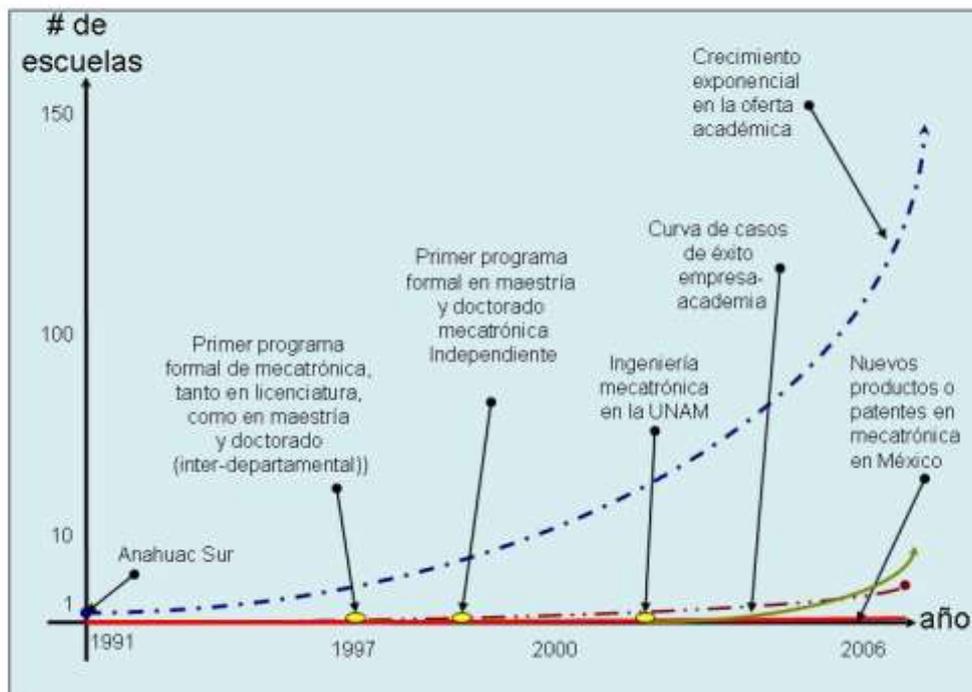
Se esperaría que el Sistema Integrado de Información sobre Investigación Científica y Tecnológica (SIICYT), en la componente del RCEA, tuviera una base de datos que agrupara a los investigadores activos (miembros del SNI y acreditados como revisores para las diversas convocatorias del CONACYT) en mecatrónica y sus sub-áreas que la componen, como son diseño de maquinas, sistemas electrónicos, control y automatización. Sin embargo, esto no es así, mecatrónica no aparece como palabra clave para la búsqueda (ni siquiera robótica como palabras clave en la base de datos), por lo que es imposible determinar cuantos especialistas e investigadores activos existen en México, de acuerdo a la base de datos oficial del CONACYT. Este hecho habla del poco interés al interior de CONACYT por incluir mecatronica como palabra clave y de la poca presencia de los usuarios del CONACYT relativo al universo total de usuarios del CONACYT.

⁴² www.computrabajo.com.mx

Un análisis de la información disponible en el SIICYT entrega lo siguiente:

- Cero especialistas en mecatrónica (evidentemente por que no aparece la palabra clave “mecatrónica”)
- Cero especialistas en robótica (evidentemente por que no aparece la palabra clave “robótica”)
- Aparecen solo 10 especialistas que declaran como su área el diseño de maquinas, parte esencial en mecatrónica,
- Aparecen solo 10 especialistas que declaran como su área el diseño de circuitos y embebidos, también parte esencial en mecatrónica,
- Hay 7 investigadores bajo el rubro de “Ciencias de la tecnología”, en el rubro de “Otros”

La siguiente gráfica nos muestra que el desarrollo de la Mecatrónica en México se ha dado en diferente medida entre la industria y la oferta académica, medido por una parte a través de los casos de éxito en la relación academia-empresa, así como los productos comercializados contra la oferta académica, la cual ha tenido un crecimiento exponencial.



Fuente: CINVESTAV-IPN. Inventario de capacidades academia, centros de investigación y empresas clave. 2007

Formación de recursos humanos

Actualmente se presume conservadoramente que cada año egresan de las más de 150 escuelas, en todos los niveles, más de 2,500 estudiantes graduados (cifra que fácilmente puede ser mayor, debido a que solo estamos considerando menos de 9 egresados por semestre por institución). Note que la mayoría de las escuelas grandes están apenas graduando a la primera generación en 2007, como la UNAM y la UANL. Así entonces, el universo muy conservador de los egresados es:

- Doctorado: 10 posgrados, con al menos 2 egresados por año, 20 doctores
- Maestría: 18 posgrados, con al menos 8 egresados por año, o sea 144 maestros
- Especialización y diplomado: al menos 250 al año
- Licenciatura: mas de 100 escuelas, al menos 10 egresados por semestre, da mas de 2,000
- Técnico Superior: Al menos 120 al año
- Bachillerato: Al menos 240 al año

Se presenta el listado completo de las instituciones educativas con enseñanza en mecatrónica:

No.	Estado	Institución
1	Aguascalientes	ITESM Aguascalientes
2		Universidad Panamericana Bonaterra
3		Universidad Politécnica de Aguascalientes*
4		Universidad Tecnológica de Aguascalientes
5		UVM Ags
6	Baja California Norte	Instituto Tecnológico de Mexicali*
7		Centro de Enseñanza Técnica y Superior, CETYS Mexicali
8		Universidad Autónoma de Baja California*
9		Universidad Politécnica de Baja California Norte
10		UVM-Bcalifornia-Mexicali
11	Chiapas	ITESM Chiapas
12		Universidad Politécnica de Chiapas
13		UVM
14	Chihuahua	ITESM Chihuahua
15		Instituto Tecnológico de Ciudad Cuauhtemoc*
16		ULSA Chih
17		ITESM-Cd Juarez
18		Universidad Autónoma de Ciudad Juárez*
19		Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez*
20	Coahuila	Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de la Región Carbonifera

21		Instituto Tecnológico de Saltillo*
22		Instituto Tecnológico de la Laguna*
23		ITESM-Saltillo
24		UVM-Saltillo
25		ITESM-Laguna
26		Universidad Tecnológica de Coahuila*
27		Universidad Tecnológica de Torreón
28		Universidad Tecnológica del Norte de Coahuila*
29		UVM-Torren
30	Colima	ITESM-Colima
31		Instituto Tecnológico de Colima*
32	Distrito Federal	Instituto Politécnico Nacional, UPIITA*
33		ITESM-Sta Fe
34		ITESM-CD Mexico
35		Universidad Anáhuac-Sur
36		Universidad CUIN
37		Universidad Iberoamericana
38		Universidad ICEL
39		ULSA
40		Universidad Marista
41		Universidad Nacional Autónoma de México*
42		Universidad Panamericana
43		UNITEC-DF
44		UVM-Tlalpan
45		Universidad de la Republica Mexicana
46		Durango
47	ULSA-Laguna	
48	Estado de México	ITESM-CEM
49		ITESM-Totuca
50		Instituto Tecnológico de Tlanepantla*
51		Instituto Tecnológico de Toluca*
52		Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco*
53		Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec*
54		Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán*
55		Tecnológico de Estudios Superiores de Jilotepec*
56		Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán*
57		Universidad Anáhuac Norte
58		Universidad Politécnica del Valle de México
59		Universidad Tecnológica del Sur del Estado de México*
60		UVM-Hispano
61		UVM-Lomas Verdes
62		UVM-Toluca
63	Universidad Tecnológica del Sur del Edo de Mexico	
64	Guanajuato	ITESM-Irapuato
65		ITESM-León
66		Instituto Tecnológico Superior de Irapuato*
67		Instituto Tecnológico de Celaya*
68		Universidad Iberoamericana
69		León
70		Universidad de Guanajuato FIME
71	ULSA-Bajío	

72		Universidad Tecnológica de León*
73	Guerrero	Centro de Enseñanza Técnica Industrial*
74		Universidad Politécnica de Tulancingo*
75	Hidalgo	ITESM
76		ULSA Pachuca- La Concepción
77		Universidad Politécnica de Pachuca*
78		Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Huichapan
79	Jalisco	Centro de Enseñanza Técnica Industrial
80		ITESM-Gdl
81		Universidad Autónoma de Guadalajara
82		Universidad de Guadalajara*
83		Universidad del Valle de Atemajac
84		Universidad Panamericana-Gdl
85		Universidad Politécnica -Jal
86		UNITEC
87		Universidad Tecnológica de la Zona Metropolitana de Guadalajara*
88		UVM-Gdl
89	Michoacán	ITESM-Morelia
90		Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Uruapan*
91		Inst Tecnológico Superior de Cd. Hidalgo
92	Morelos	ITESM-Cuernavaca
93		Universidad del Sol
94		ULSA-Cuernavaca
95		UVM-Cuernavaca
96		Cenidet
97	Nuevo León	ITESM-Mty
98		Universidad Autónoma de Nuevo León*
99		Universidad de Monterrey
100		UNITEC
101		Universidad Regiomontana
102	Oaxaca	Universidad Tecnológica de la Mixteca*
103		Universidad del Papaloapan
104	Puebla	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*
105		ITESM-puebla
106		Instituto Tecnológico de Atlixco*
107		Instituto Tecnológico 36 Tehuacán*
108		Instituto Tecnológico Superior de Zacapoaxtla*
109		Universidad de las Américas
110		Universidad Anáhuac-puebla
111		Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla
112		Universidad Tecnológica de Puebla
113	UVM-Puebla	
114	Querétaro	Instituto Tecnológico de Querétaro*
115		ITESM-Qro
116		Universidad Politécnica de Querétaro
117		UVM-Qro
118	San Luis Potosí	ITESM
119		Instituto Tecnológico de San Luis Potosí*
120		Instituto Tecnológico Superior de San Luis Potosí*

121		Universidad Marista de San Luis Potosí
122		UVM-SLP
123	Sinaloa	Universidad Politécnica de Sinaloa
124		Instituto tecnológico de Culiacan
125		UNITEC
126	Sonora	ITESM-Cd Obregon
127		ITESM-Sonora Norte
128		Instituto Tecnológico de Hermosillo
129		Instituto Tecnológico de Huatabampo*
130		Instituto Tecnológico Superior de Cajeme*
131		ULSA-Noroeste
132		Universidad del Noroeste
133	Universidad Kino	
134	Tabasco	Instituto Tecnológico Superior de Comalcalco*
135		Instituto Tecnológico Superior de Macuspana*
136	Tamaulipas	Instituto Tecnológico de Matamoros*
137		Instituto Tecnológico de Reynosa*
138		Universidad Politécnica de Ciudad Victoria
139		Universidad Tamaulipeca
140		Universidad Tecnológica de Tamaulipas Norte*
141	Tlaxcala	Universidad Politécnica de Tlaxcala
142	Veracruz	ITESM-cordoba
143		Instituto Tecnológico Superior de Poza Rica*
144		Instituto Tecnológico Superior de Coatzacoalcos
145		Universidad del Valle de Orizaba
146	Yucatán	Escuela Modelo
147		Universidad Autónoma de Yucatán*
148		Universidad del Mayab
149	Zacatecas	Universidad Tecnológica del Estado de Zacatecas
150		Universidad Politécnica de Zacatecas

e. Áreas de investigación y desarrollo en que trabajan actualmente las empresas y los centros públicos.

Se incluye una descripción de los grupos de investigación en instituciones y centros de investigación públicos y privados del país.

Institución	Grupo de Investigación	Líneas de Investigación	Numero de Inv. de TC	Publicaciones	Vinculación	Docencia	Comentarios
1. UNAM	Departamento de Mecatrónica	<ul style="list-style-type: none"> Diseño para ensamble y manufactura Ingeniería concurrente Diseño de sistemas domóticos Diseño de equipo médico Diseño de control para robots manipuladores 	10	Si	Si	Si	Solo 2 investigadores con grado de Doctor
2. ANAHUAC SUR	Coordinación de Mecatrónica	<ul style="list-style-type: none"> Modelado de sistemas mecatrónicos Desarrollo de productos mecatrónicos Algoritmos de control 	--	Si	Si	Si	No hay evidencia documental de productividad en Mecatrónica
3. CIDESI	Dirección de Investigación	<ul style="list-style-type: none"> Control Robótica Modelación y Simulación Visión Artificial 	13	Si	Si	Si	6 Investigadores con PhD, 7 con maestría
4. CIATEQ	Mecatronica y Sistemas Inteligentes de Manufactura	<ul style="list-style-type: none"> Manufactura Inteligente Robótica Industrial Inteligencia Artificial Visión Artificial 	8	Si	Si	Si	Solo 2 investigadores con grado de Doctor
5. CINVESTAV-IPN	Robótica y Manufactura Avanzada	<ul style="list-style-type: none"> Robótica Manufactura Visión Artificial 	10	Si	Si	Si	Mayoritariamente hacen control, no mecatrónica
6. ITESM	Mecatrónica, Robótica, Sistemas Inteligentes de Manufactura	<ul style="list-style-type: none"> Robótica Manufactura Visión Artificial 	27	Si	Si	Si	En todo el sistema nacional ITESM
7. CENAD	---	<ul style="list-style-type: none"> Mecatrónica 	--	--	Si	Si	Da cursos nacionales e internacionales de actualización en Mecatrónica, nivel licenciatura
8. UPIITA	Mecatrónica Electrónica Biónica Telemática	<ul style="list-style-type: none"> Mecatrónica Electrónica Biónica Telemática 	14	Si	No	Si	Solo 2 profesores investigadores de Tiempo Completo hacen Mecatrónica
9. Univ. Autónoma de Querétaro	Control y Automatización Instrumentación	<ul style="list-style-type: none"> Robótica Control Maquinas y herramientas 	7	No	Si	No	No hay evidencia documental de productividad en Mecatrónica
10. CENIDET	Electrónica de Potencia Redes Neuronales Control/Automatización Mecatrónica	<ul style="list-style-type: none"> Electrónica de Potencia Redes Neuronales Control/Automatización Mecatrónica 	16	Si	Si	No	No hay evidencia documental de productividad en Mecatrónica
11. Instituto Tecnológico de la Laguna	Robótica	<ul style="list-style-type: none"> Robótica Control Mecanismos 	5	No	No	No	No tienen ningún profesor con formación mecatrónica

Fuente: Elaboración propia

f. **Demanda sectorial en México, indicando productos, procesos y sistemas funcionales específicos relacionados con la mecatrónica**

La demanda sectorial que se detectó durante la investigación de campo se resume en el siguiente cuadro:

DEMANDA SECTORIAL	
<p>ELECTRÓNICO</p> <ul style="list-style-type: none"> •Medición de partes y componentes •Maquinado de piezas CNC •Electro erosionado de metales •Recubrimiento de metales •Robots de soldadura •Pruebas eléctricas •Pruebas de frecuencia de sonidos •Inserción automática •Soldadura de placas electrónicas (plomo y sin plomo) •Sensores de detección de materiales, inserción automática. 	<p>AEROESPACIAL</p> <ul style="list-style-type: none"> •Maquinaria de CNC para el maquinado de partes metálicas y corte de paneles •Pruebas eléctricas
	<p>MÉDICO</p> <ul style="list-style-type: none"> •Maquinaria con mecatrónica integrada •Maquinaria de inyección de plástico •Soldadura por radiofrecuencia
<p>AUTOMOTRIZ</p> <ul style="list-style-type: none"> •Máquinas de inyección de plástico •Máquinas CNC de maquinado de metales •Corte de cable eléctrico 	<p>MANUFACTURAS ELÉCTRICAS</p> <ul style="list-style-type: none"> •Hornos de curado de barniz con cambios programados de temperatura •Medición de partes y componentes •Maquinado de piezas, medición por coordenadas
<p>Demanda General</p> <ul style="list-style-type: none"> •Proveedores especializados de insumos y de servicios •Personal capacitado 	

De la tabla anterior, se desprenden las áreas de oportunidad que presentan las empresas según al sector que pertenecen, y dan un panorama de los requerimientos futuros de las mismas, ya que parte de la información listada comprende los resultados del cuestionamiento planteado sobre las demandas futuras de maquinaria, equipo y herramientas, así como las necesidades de incluir elementos de automatización y control en los procesos productivos o en productos terminados.

La demanda del sector electrónico obedece a una tendencia de sustitución de maquinaria y equipo que se ha dado cíclicamente y a las demandas futuras que se prevén en función de los productos que se encuentran en fase de diseño.

La demanda del sector automotriz por su parte, tiene su origen en el volumen proyectado para los próximos años de piezas mas complejas elaboradas a partir de polímeros que incluyen compósitos o mezcla de compuestos que continuarán sustituyendo a partes metálicas que permitan disminuir costos de



producción y al liderazgo que presenta nuestro país en cuanto número de industrias arneseras.

Por su parte, el sector aeroespacial ubica en el corto y mediano plazos, la necesidad de incorporar piezas metálicas elaboradas con máquinas herramientas de alta precisión o de control numérico, así como piezas transformadas a partir de paneles, además de la medición y pruebas de componentes eléctricos.

En el sector médico se prevé la inclusión de procesos de inyección de piezas plásticas que sustituyan la importación actual de éstas y la consecuente soldadura por radiofrecuencia en sus procesos productivos, de igual forma pronostican un aumento en la demanda de equipos que incluyen instrumentos mecatrónicos.

En el sector eléctrico y obedeciendo a una respuesta obligada a productos de la competencia internacional que ya surte los mercados con productos de tecnología avanzada, se menciona la inclusión inminente de equipos mecatrónicos que apoyen el proceso de barnizado, y el maquinado de piezas por coordenadas que permitan incorporar fácilmente al producto terminado elementos de mayor precisión.

El personal capacitado y el eslabonamiento con proveedores especializados de insumos y servicio fue un elemento común de demanda futura que prevén los distintos sectores, sin embargo, al momento de preguntar a las empresas el número de ingenieros mecatrónicos que requerirían o la demanda aproximada que asignarían a proveedores locales de insumos mecatrónicos, la respuestas fueron evasivas en su mayoría o mencionaban no contar con ese dato.



- g. **Inventario de las principales instituciones públicas, organismos privados, que promueven y apoyan el desarrollo de la mecatrónica.**

Instituciones en México

- **Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav)**

Gestada desde 1993, la Sección de Mecatrónica del Departamento de Ingeniería Eléctrica del Centro de Investigación y Estudios Avanzados ha sido pionera en México de la investigación en el área.

Por la calidad de los programas de posgrado que ofrece y de la investigación que realiza, actualmente es el grupo de investigación líder en el desarrollo de la mecatrónica en México.

Los siguientes proyectos financiados se encuentran actualmente en ejecución:

- Control proporcional integral generalizado de sistemas dinámicos.
 - Teleoperación bilateral óptica vía Internet.
 - Análisis y control de sistemas no lineales en tiempo discreto.
 - Interacción multilateral vía Internet con robots cooperativos.
- **Centro Nacional de Actualización Docente en Mecatrónica.**

Entre otras muchas cosas en este centro se imparten cursos de robótica, automatización industrial, sensores y máquinas.

- **Asociación Mexicana de Robótica, AMRob**

Los principales objetivos que persigue la AMRob son el promover a la Robótica en sus aspectos educativos, de investigación, desarrollo tecnológico y aplicaciones industriales, difundir avances y resultados de investigación y desarrollo en Robótica, servir de enlace entre los miembros de la comunidad interesada en la Robótica y promover la vinculación entre la Academia y el Sector Productivo.



- **Asociación Mexicana de Mecatrónica.**

Miembros actuales de la Asociación:

Empresa/Institución

ARJERSIGER S.A. de C.V.	Instituto Tecnológico de Saltillo
AUPROMAQ S.A. de C.V.	Instituto Tecnológico Superior de Uruapan
Centro de Ingeniería Avanzada en Turbomaquinas	Intecsyst S.A. de C.V.
Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial	Integración de Tecnología
Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, IPN	Integración Tecnológica Avanzada S.A. de C.V.
Centro de Investigación en Computación	ITESCA
Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico	ITESM Campus Estado de México
Centro Nacional de Metrología	ITESM Campus Querétaro
CIATEQ	ITESM Campus Toluca
CIDESI	MaxLight S.A. de C.V.
CINVESTAV Unidad Guadalajara	Petroleos Mexicanos
CINVESTAV-Guadalajara	Tenaris TAMSA S.A. de C.V.
CINVESTAV-Saltillo	Universidad Anáhuac del Sur
CNR S.A. de C.V.	Universidad Anáhuac México Sur
Comunidad Tecnológica	Universidad Autónoma de Puebla
DELPHI S.A. de C.V.	Universidad Autónoma de Querétaro
DEPFI-UNAM	Universidad de Guanajuato
ESIME-Azcapotzalco del IPN	Universidad Kino
Estudiante en el ITESM-Querétaro	Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
FESTO PNEUMATIC S.A. de C.V.	Universidad Modelo de Mérida
Gillette de México S.A. de C.V.	Universidad Nacional Autónoma de México
Hospital General Los Mochis, Sinaloa	Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla
Industria Militar-SEDENA	Universidad Tecnológica de Coahuila
Ingeniería y Mecatrónica S.A. de C.V.	Universidad Tecnológica de Puebla
Instituto Mexicano del Seguro Social	Universidad Tecnológica de Querétaro
Instituto Mexicano del Transporte	Universidad Tecnológica de San Juan del Río
Instituto Tecnológico de Apizaco	Universidad Tecnológica de Torreón
Instituto Tecnológico de Chihuahua	Universidad Veracruzana
Instituto Tecnológico de León	University de Poitiers
Instituto Tecnológico de Morelia	University of Essex
Instituto Tecnológico de Puebla	UPIITA-IPN
Instituto Tecnológico de Querétaro	Vanderbilt University
Instituto Tecnológico de Reynosa	Waseda University

- **La Cámara Nacional de la Industria, Electrónica, de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información, CANIETI**

CANIETI promueve el desarrollo de este sector en un entorno global con servicios de alta calidad. Su principal propósito es lograr el desarrollo competitivo de la Industria Nacional con sentido gremial y responsabilidad social.

- **Centro de Articulación Productiva en Mecatrónica A.C.**

La Asociación promueve la difusión de ofertas y demandas de trabajo en Mecatrónica y áreas afines.



- **Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico CENIDET**

El CENIDET ofrece sus programas de posgrado, para egresados de licenciaturas afines que estén interesados en prepararse para la investigación aplicada y el desarrollo tecnológico.

- **Robótica e Instrumentación Industrial SA de CV**

Automatización y Control de Procesos Industriales

- **Centro de Desarrollo para la Industria Automotriz en México (CeDIAM)**

Es un Centro de desarrollo que fue inicialmente planeado e impulsado por el Tecnológico de Monterrey, gidas , Instituto Fraunhofer e Instituto de Producción y Logística, ambos en Alemania. El Centro cuenta con el apoyo de la Secretaría de Economía, del CONACYT y del Gobierno de Baviera. Su objetivo es impulsar la competitividad de la industria automotriz en el país, así como prestar servicios, asesoría, desarrollo y apoyo a todo el sector automotriz, independientemente de las marcas y de sectores específicos de la cadena automotriz.

- **Centro de Investigación en Mecatrónica Automotriz-CIMA**

Es un grupo multidisciplinario de investigadores con la experiencia, conocimientos e infraestructura necesaria para prestar a la industria mexicana servicios de asesoría, investigación aplicada, desarrollo tecnológico y capacitación en las áreas relacionadas directa o indirectamente con la ingeniería automotriz. El CIMA fue creado como una consecuencia directa de la Cátedra en Instrumentación Automotriz iniciada en el Agosto 2003.

EMPRESAS

- INTECSYS S.A. de C.V. y NGM Consultores SC
- MECATRONIX
- CRYA
- Mecatrónica Sofía, S.A. de C.V.
- Solaris
- Robótica e Instrumentación Industrial, S.A. de C.V.
- Equiposyahn
- Robótica y Diseño, S.A. de C.V.
- KUKA de México
- TARGET Robotics S.A. de C.V.
- Mecatrónica Ambar, S.A. de C.V.
- Equipo y Máquinas Computarizadas, S.A. de C.V.



h. Tipo de empresas establecidas que tienen potencial para desarrollar o para aplicar esta tecnología.

Como se ha mencionado con anterioridad dentro del ramo de la Ingeniería Mecatrónica se encuentran cuatro ramas fundamentales. Sería imposible clasificar el avance o complejidad tecnológica dentro de categorías o clases específicas, debido a esto, los criterios de análisis de la investigación se hicieron de manera descriptiva, por lo que la aparición de determinadas tecnologías en base a la superioridad de unas contra otras, o la aparición de determinadas tecnologías elegidas debido a su gran complejidad nos brindaron datos suficientes para encontrar su nivel tecnológico versus ellas mismas.

Con la anterior salvedad, podemos inferir o crear una especie de regresión de la tendencia que tienen las empresas a poder utilizar o desarrollar la tecnología con la que algunas cuentan y en el mejor de los casos, la capacidad de las empresas para poder desarrollarla y/o mejorarla internamente.

Dentro de este contexto podemos comenzar a hablar de acuerdo a los datos de cada uno de los giros por separado, aclarando cuando algunos puntos separen o marginen a la Industria Nacional de esta tecnología.

Industria Aeroespacial

Este giro se describe en 3 situaciones específicas:

En aquellas que tienen un gran nivel de tecnología empleado, centros de maquinado de alta tecnología y procesos intermedios con gran fluidez, donde el potencial para incrementar su desarrollo sería poco debido al costo que esto implicaría.

En otra, tenemos a la empresa que cuenta con una fusión de tecnologías en maquinados de alta precisión, pero que en varios procesos figura el uso intensivo de la mano de obra en procesos de ensamble o de procesos de conformado, donde el potencial de implementar tecnologías que sustituyan estos procesos es grande y donde los procesos de embalaje podrían a su vez utilizar mayor tecnología Mecatrónica para facilitarlos.

La última se encuentra en aquellas que por la complejidad o naturaleza del proceso, éste se lleva a cabo manualmente con ayuda de herramientas electrónicas-eléctricas, en donde el potencial de automatización es muy grande en aquellas labores que se pudieran coincidir conforme varía el producto.



Industria Automotriz

En este sector industrial tenemos una gran presencia de tecnología, mayormente en aquella que realiza maquinados especializados, así como muchos procesos de conformado de materiales que se llevan a cabo dentro de este sector, los lugares que cuentan con ensamblaje tienen mucha intervención humana y empleo de herramientas eléctricas.

Dentro de este sector, existe una variabilidad muy grande en la capacidad de las empresas para poder implementar sus propios centros de desarrollo, tanto para los productos, como para los procesos, debido a la capacidad de inversión de cada uno.

Las oportunidades más visibles para realizar cambios se darían en aquellas donde existen procesos de ensamble electrónico y eléctrico, así como algunas operaciones de ensamblajes simples que se pudieran realizar en tiempos más cortos, resolviendo gran parte de los cuellos de botella que surgen en los procesos con gran cantidad de mano de obra. El tiempo de desarrollo de estas tecnologías se estima que no sería superior a un semestre.

Industria Electrónica

Este sector industrial cuenta con una fuerte presencia de tecnologías automáticas como máquinas SMT, robots soldadores, equipos de inspección automática, etc.

El sector es muy homogéneo, ya que la mayoría de las empresas son de grupos transnacionales que presentan niveles de tecnología muy similares. Para analizar mejor el sector, podemos clasificar las diferentes empresas en dos grandes ramos:

Empresas con tecnología de punta:

En esta categoría podemos incluir a las empresas transnacionales de capital intensivo, que tienen una gran capacidad de inversión, y donde sus plantas son modelos de producción directamente de los corporativos, que no presentan una brecha tecnológica con respecto a otros países.

Empresas que emplean maquinaria semiautomática:

La gran mayoría de las empresas visitadas incurren en esta clasificación, ya que producen una gran cantidad de piezas y cuentan con una gran variedad de productos, pero en general, en su proceso predomina el uso de maquinaria semiautomática que realiza operaciones repetitivas o riesgosas.

Tomando en cuenta esta clasificación y analizando de manera cuantitativa la



muestra de las empresas del sector, podemos identificar áreas de oportunidad para la Mecatrónica en ambas por los siguientes motivos:

En las primeras, existen muchas oportunidades ya que son capaces de financiar proyectos de investigación y distribuir los costos de la mejora en los procesos de producción. En algunas de estas empresas, existen áreas dedicadas a la mejora continua de los procesos, lo que facilitaría la inclusión de soluciones mecatrónicas elaboradas por externos que atiendan las necesidades detectadas.

El tiempo estimado en la aplicación de estas tecnologías oscila entre dos y cinco años, atendiendo a la complejidad y frecuencia de los mismos.

En las segundas, también existen oportunidades debido al empleo de máquinas semiautomáticas que obligan a realizar muchas operaciones manuales. Estas operaciones pueden automatizarse en su totalidad. En este caso el reto consiste en facilitarles el acercamiento a proveedores locales que les ayuden a implementar soluciones que hagan más eficientes las operaciones y reduzcan costos. También existen posibilidades de desarrollo en las áreas de monitoreo y control de la información las cuales, no requerirían de tanta inversión y los beneficios obtenidos se reflejarían en corto plazo.

Industria Eléctrica

El sector industrial eléctrico en México tiene una fuerte representación de empresas mexicanas.

Las empresas de este sector, realizan operaciones relacionadas con el corte de alambre y conformado de piezas metálicas, por lo cual emplean maquinaria de alta tecnología en algunas de sus operaciones, lo que contrasta con otras empresas que realizan productos que no requieren tanta precisión y utilizan mano de obra intensiva.

Para identificar mejor las oportunidades, podemos clasificar a las empresas en dos grandes sectores:

Empresas con tecnología de punta:

Donde las oportunidades de implementación de la Mecatrónica son pocas, ya que tienen en la mayoría de sus procesos maquinaria muy avanzada tecnológicamente con poca capacidad de crecimiento, tanto en su tecnología mecánica, como en sus capacidades informáticas.

Empresas con operaciones semiautomáticas y mano de obra intensiva:

En estas empresas se refleja la tecnología utilizada en décadas anteriores y requieren de una gran cantidad de mano obra, sus procesos tienen poco



control y existen grandes oportunidades de desarrollo para tecnologías como la Mecatrónica.

Se pueden desarrollar proyectos relacionados con la automatización en gran parte de los procesos, pero se requiere una inversión significativa y un tiempo considerable para llevarlo a cabo.

Existen oportunidades en el desarrollo de tecnologías de control y manejo de la información, lo cual se ve reflejado en mejores decisiones para las empresas.

Se estima que desarrollando proyectos integrales de automatización y control en dos años se verían resultados.

Industria de Automatización y Control

Este tipo se dedica a brindar soluciones tecnológicas a empresas económicamente más grandes, a través del diseño del área mecánica, electrónica y computacional con una amplia integración de sensores y dispositivos para el desarrollo de tecnología de mediana capacidad, (conocidas en el medio mecatrónico como integradoras)

El nivel competitivo en la mayor parte de la industria de automatización se basa en la capacidad de inversión en materias primas y el tiempo límite para la entrega de los diseños terminados.

Utilizan mecanismos e insumos electrónicos provenientes de proveedores internacionales que son adaptados a diseños mecánicos propios para la automatización de líneas de producción que trabajen libremente o coordinadas con tecnología actualmente utilizada por sus clientes.

El proceso de construcción de las soluciones tecnológicas posee una gran mutabilidad dependiendo del tipo de máquina y el sector al cual es dirigida, aun así, son dispositivos con un gran valor agregado y un tiempo de construcción que no normalmente no sobrepasa los seis meses de entrega.

Paradójicamente a pesar de que este tipo de industria crea tecnología de automatización, la construcción y diseño de esta maquinaria se hace en forma preponderantemente manual, debido a que los esquemas proyectados por los clientes son muy diferentes aun y cuando son dirigidas al mismo tipo de industria e inclusive dentro de una misma empresa.

El volumen y distribución de ventas es la mejor forma de clasificar esta industria, las mas robustas diseñan una mayor cantidad de maquinaria con un mercado dentro de las empresas tecnológicamente mas grandes, apoyadas por un personal multi-disciplinario muy capacitado y una gran cantidad de máquinas herramientas para la construcción de sus diseños.



Industria Médica

Este tipo de industria se caracteriza por su capacidad para la manufactura de equipo médico dentro de ambientes controlados para evitar la contaminación de sus productos durante el periodo de fabricación y empaque.

Utiliza en la mayoría de los casos, mano de obra intensiva y estrictos controles de calidad, su capacidad de producción es bajo pero el valor agregado compensa la falta de volumen. Posee un gran potencial para la automatización de sus líneas de producción a través de robots transportadores de productos, ensambladores y soldadores de productos plásticos y metálicos de pequeño tamaño, así como en sistemas alternos de inspección automatizada y sistemas de empaque para evitar el contacto con elementos contaminantes.

La maquinaria utilizada en este tipo de industria es comparativamente mas costosa que en el resto de las demás áreas, debido a que tiene que cumplir una serie de parámetros de seguridad e higiene que no son un requisito indispensable para el resto de las industrias, razón por la cual los planes para la integración de nueva tecnología dentro de una industria médica tiene que ser aprobada por alguna agencia gubernamental antes de ser instalada y durante su utilización, lo que conlleva a un tiempo mucho mas amplio para la adaptación y modernización de tecnología existente que se estima superior a dos años.

i. Áreas de oportunidad con potencial para la creación de empresas nuevas y tiempo estimado para que esto ocurra.

La investigación de campo reveló que los principales impedimentos que presentan las empresas para utilizar tecnologías avanzadas son:

Desconocimiento: Las empresas desconocen las opciones en tecnología y automatización disponibles para su proceso, al igual que ignoran la existencia de asesoría por parte de expertos en el área.

Inversión: La inversión inicial y los costos de mantenimiento son considerados elevados e incosteables.

Motivación: A nivel internacional se sabe que un factor determinante para que las empresas consideren invertir en automatización y control de sus procesos productivos es la reducción de costos, la mano de obra y reducción de errores y mermas son los principales, esto con la finalidad de mejorar su competitividad en el mercado global. Sin embargo en México la mano de obra no es un problema pues es relativamente barata, por lo tanto no tienen este factor que les motive a realizar una inversión y modificación en sus procesos.

Debido a lo anterior se encuentran áreas de oportunidad para México en la difusión de la oferta tecnológica disponible; en la creación de empresas integradoras y de mantenimiento en el país; en la vinculación de los Centros de Investigación-Empresas, los industriales desconocen que los centros tengan la capacidad para solucionar problemas en procesos productivos.

Las áreas de oportunidad con potencial para la creación de empresas en México son las siguientes:

- Desarrollo de software especializado a precios más competitivos
- Empresas integradoras
- 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 eléctrico principalmente



III. Estrategias y nichos de oportunidad en materia de educación, ciencia, tecnología y políticas públicas.

a. Comparación de la situación en México con la situación en los países líderes en materia de desarrollos y aplicaciones de la mecatrónica.

Los países líderes en desarrollos y aplicaciones de la mecatrónica son Alemania, Estados Unidos y Japón.

Japón y Alemania son los principales desarrolladores y empleadores de tecnologías mecatrónicas, mientras que Estados Unidos tiene una presencia importante por su gran capacidad de comercialización, es decir, importa tecnologías nuevas, les agrega valor y las comercializa como propias, pero en la mayoría de los casos la innovación proviene de Asia y Europa principalmente.

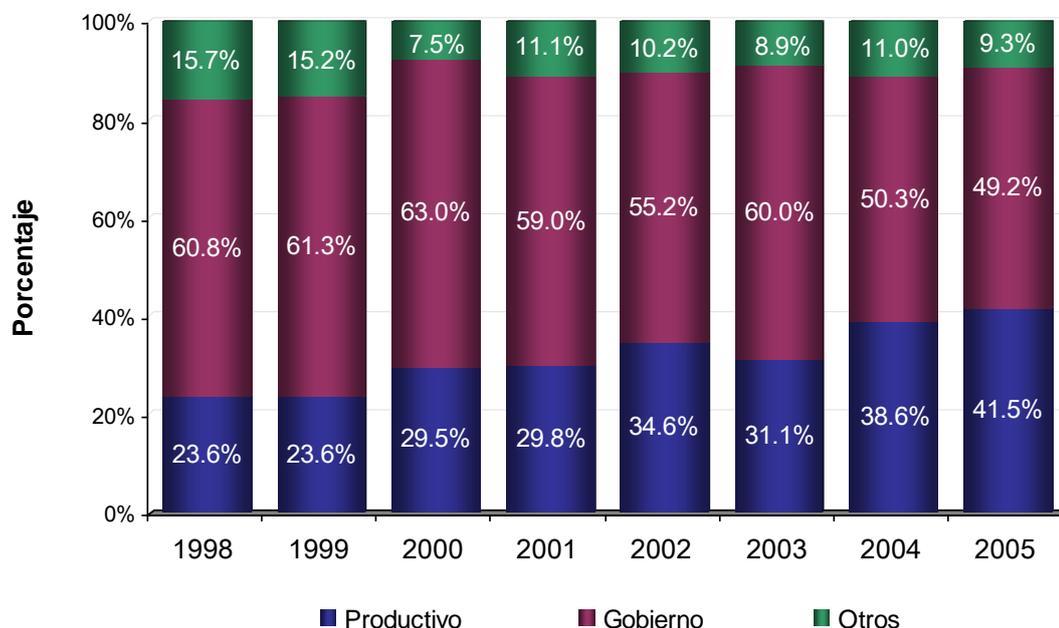
Aún con la enorme brecha tecnológica, en lo que respecta a la mecatrónica, México, quien ha sido receptor de grandes inversiones extranjeras, durante muchos años no se interesó en mejorar la calidad o hacer innovaciones en tecnología. Simplemente orientó sus esfuerzos en producir lo que se le solicitaba del extranjero utilizando su principal ventaja competitiva, la mano de obra barata. Con el tiempo la situación ha cambiado y la mano de obra barata ahora además es mejor calificada, por lo que poco a poco se ha ganado un grado de respeto y libertad para hacer modificaciones e innovaciones a ciertos procesos.

Conforme las grandes empresas trasnacionales mejoran su desarrollo tecnológico y crean nuevos productos que demandan procesos de producción mas sofisticados, y con mejor calidad, el sector industrial se ha visto en la necesidad de invertir en investigación y desarrollo.

El interés que muestra el sector productivo en el desarrollo tecnológico, es un claro indicador de la capacidad tecnológica de un país. En el caso de México, aún cuando cualitativamente se observa que las empresas, particularmente, las grandes y medianas se interesan por la innovación, como instrumento generador de competitividad, la inversión que realizan en actividades de innovación y desarrollo todavía es menor, en comparación con el esfuerzo que se realiza a nivel de políticas públicas.

Esto se puede observar en la siguiente gráfica pues el porcentaje que aporta la industria privada al gasto en investigación y desarrollo, es menor al que aporta el sector público.

EVOLUCIÓN EN LA ESTRUCTURA DEL FINANCIAMIENTO DEL GIDE



Fuente: Elaboración propia. Información del Informe General del Estado de la Ciencia y Tecnología, CONACYT 2007

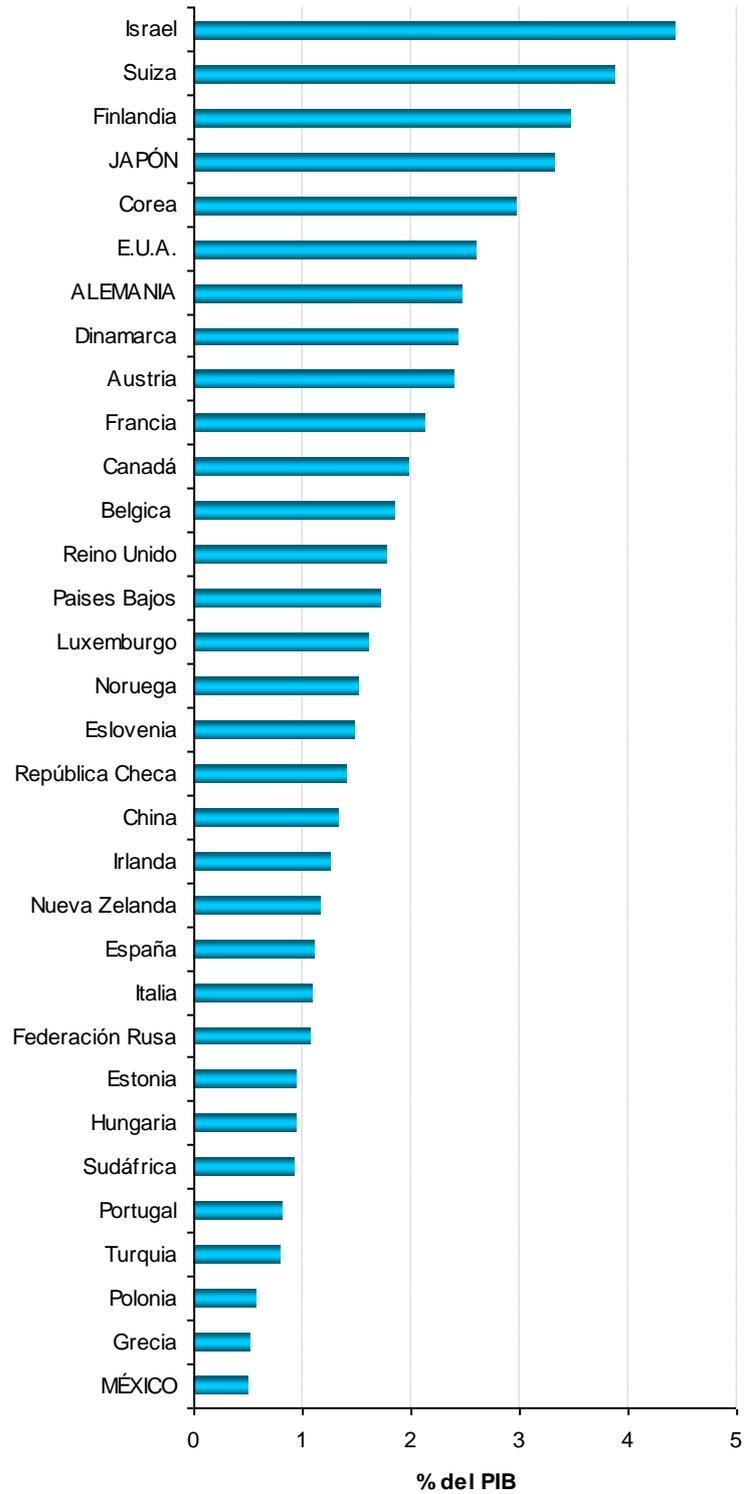
Las empresas en general, ven en la inversión en Investigación y Desarrollo un alto riesgo y una baja probabilidad de retorno a su inversión en el corto plazo, por lo que los presupuestos asignados a este rubro son pocos y las obligan a continuar con sus procesos de manufactura actuales o depender de la tecnología extranjera, lo que impide que se genere el concepto de utilización del desarrollo tecnológico como promotor de su competitividad.

El desarrollo científico-tecnológico está intrínsecamente ligado al desarrollo integral de un país; sobre todo en tiempos de globalización y de tecnologías sofisticadas. Sin embargo, para muchos países en desarrollo la dimensión científico-tecnológica continúa prácticamente imperceptible.

México en comparación con otros países, invierte muy poco en el tema de Investigación y Desarrollo, únicamente el 0.37% del PIB, contrario a lo que sucede en los países mas desarrollados.

Mientras México continúe al final de la lista en lo que respecta a la inversión en Investigación y Desarrollo su brecha tecnológica no se reducirá, porque los países líderes en mecatrónica (Alemania, Estados Unidos, Japón y Corea) también se caracterizan por invertir mas del 2.5% de su Producto Interno Bruto en actividades de investigación.

INVERSIÓN EN I&D COMO % DEL PIB



Fuente: Elaboración propia con información de OECD Factbook 2008



Por otro lado, el valor agregado de la industria de un país nos da un indicador de su nivel tecnológico. Se podría pensar que el incremento de las exportaciones de la industria es también un buen indicador, sin embargo, esto no significa que el país esté desarrollando productos, está más asociado al comercio de productos con mayor valor unitario.

La falta de encadenamientos productivos y el predominio de actividades que generan bajo valor agregado (como la manufactura a gran escala, ensambles y sub ensambles) son factores que explican el pobre desempeño de la competitividad.

El incremento de la productividad es central para fortalecer la competitividad de la industria, así como para incrementar las derramas de ésta al resto de la economía local.

Los países líderes en mecatrónica también tienen un crecimiento similar entre ellos en el valor agregado de sus industrias.

En este sentido la situación de México no es equiparable a la de los países líderes en tecnologías de automatización, falta de inversión tanto pública como privada en investigación y desarrollo, la dependencia con la industria maquiladora y la idea generalizada entre las pequeñas y medianas empresas de que la automatización es para las empresas con grandes capitales, son factores que inhiben el desarrollo de la mecatrónica como fuerza dinamizadora de la competitividad industrial.



b. Resumen de resultados obtenidos en materia de política pública y comparación de la situación en México con los países con éxito en el desarrollo del sector.

Redes y consorcios:

En México no se tienen redes formales en mecatrónica que impulsados desde una política gubernamental desarrollen intercambio de conocimiento o proyectos de Investigación y Desarrollo, a diferencia de lo que hace la Comunidad Europea.

Las implicaciones de lo anterior derivan en falta de mecanismos de coparticipación que logren sinergias y fomenten la cultura de administrar soluciones tecnológicas de punta encaminadas a satisfacer necesidades del sector empresarial.

Redunda también en un estancamiento y/o atraso tecnológico por el aislamiento de expertos en el tema, que no son conocidos por los empresarios y por ende no son consultados.

Propiedad Industrial

En los países líderes una política pública coincidente es la apertura del Estado y las regulaciones asociadas que permiten el usufructo de parte de los inventores de algún desarrollo patentado, independientemente de la posición que ocupen en algún centro o institución educativa pública, lo que motiva la inserción de un sector experto en el ámbito de los negocios mecatrónicos además de propiciar la vinculación academia empresa de forma natural.

En México la legislación actual impide que los inventores que trabajan en los Centros, Instituciones o Universidades Públicas participen o coparticipen en el usufructo de patentes o sean dueños total o parcialmente de compañías que obtengan utilidades a partir de sus desarrollos. Lo anterior se debe a que éstos son considerados servidores públicos quienes por Ley no deben obtener como producto de su trabajo alguna otra remuneración que no sea la de salario y prestaciones establecidas.

Subsidios a la Investigación y Desarrollo y/o créditos fiscales

Otro factor concurrente es el tratamiento fiscal especial que se da a las empresas que invierten en el desarrollo de nuevas tecnologías, aunque con algunas diferencias en su aplicación y cálculo coinciden en ser políticas temporales con objetivos definidos de las ramas de interés y sobre todo de la medición de los resultados.

En México se detectaron esfuerzos en este tema, sin embargo no existe un apoyo específico que mencione las ramas como la mecatrónica, ni la temporalidad de la política pública.



En otros países se parte del hecho que los precios de los insumos para el desarrollo de mecanismos mecatrónicos complejos son competitivos, por lo que no se visualizaron estrategias o políticas públicas en este sentido, sin embargo es claro que en nuestro país se requeriría de un apoyo gubernamental en este sentido que privilegie la igualdad de circunstancias en la adquisición de insumos para integrar productos o máquinas mecatrónicas que impulse su uso en empresas con menos posibilidades económicas.



c. Análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas

El 11 de marzo del presente año, bajo invitación expresa del CIMAV, se reunieron en la ciudad de Querétaro un grupo de expertos para analizar los resultados obtenidos de la investigación de la situación de la mecatrónica en México y exponer sus comentarios y observaciones al respecto.

El grupo estuvo conformado por las siguientes personas:

Ing. Emilio Ayar – Presidente de la Academia Mexicana de Mecatrónica

Ing. Abraham González – Jefe del Departamento de Mecatrónica del ITQ

Dr. J. Emilio Vargas – Fundador, Asociación Mexicana de Mecatrónica, A.C.

Mtro. Raúl Chávez – Coordinador de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Anáhuac México Sur

Dr. Efrén Gorrostieta – Presidente, Asociación Mexicana de Mecatrónica, A.C.

Ing. Adolfo Azcárate – Ventas de Productos y Servicios de Robótica de ABB

Ing. Juan Manuel Montoya – Gerente de Sistemas Mecatrónicos del CIDESI

Dentro de su análisis, el panel de expertos mencionó que es necesario establecer mecanismos que permitan vincular a los expertos en mecatrónica con las empresas que han adoptado, o pretendan adoptar sistemas mecatrónicos para que puedan tener una asesoría calificada. Si existiera un fácil acceso a la asesoría en mecatrónica, muchas empresas tenderían a la automatización.

A muchas de las grandes empresas que vienen a México por su mano de obra barata, no les conviene automatizar sus procesos para reducir personal, pero esto pudiera afectar sus niveles de competitividad y la calidad de sus productos. Por su parte, las empresas pequeñas consideran la tecnología como algo fuera de su alcance y no consideran indispensable automatizar sus procesos productivos. Es necesaria una mayor difusión de las ventajas que nuevas disciplinas como la mecatrónica, pueden tener para el crecimiento y consolidación de sus empresas.

La iniciativa que se derive de las conclusiones del presente estudio, debe abarcar a los distintos sectores productivos y a las instituciones educativas con el objeto de no caer en adoptar la automatización por sí misma, sino que ésta sea un instrumento de innovación que genere riqueza. Es necesario establecer un espacio que aproveche la sinergia que se puede crear integrando a la Secretaría de Economía, a la Secretaría de Educación Pública, instituciones educativas de nivel superior y micro y grandes empresas para establecer una política que dé garantías e incentivos para acelerar los procesos de automatización en las empresas nacionales.

Existen programas como el implementado por la Unión Europea (Eumecha-Pro) que conjugan las fortalezas y oportunidades de los países miembros para el desarrollo de la mecatrónica como instrumento para incrementar su



competitividad. Si en México se creara un esquema similar al europeo, se tendría un panorama más claro de hacia dónde dirigir los esfuerzos de gobierno, instituciones y empresas para utilizar esta disciplina para el crecimiento económico y el beneficio de la sociedad.

Con el objeto de lograr la penetración de la mecatrónica en México y lograr posicionarlo en el nivel que tiene esta disciplina en los países industrializados, es necesario además contar con un esquema claro y confiable de estímulos fiscales que promuevan su adopción tanto por pequeñas como por grandes empresas.

En este ámbito, se realizó el análisis de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas.

FORTALEZAS:

- En México, existen ramas industriales que han propiciado que se incluyan en sus procesos elementos mecatrónicos e inclusive que algunos de sus productos los contengan. Ejemplo: Industria Automotriz.
- Presencia de empresas internacionales con posibilidades de adopción, adaptación y desarrollo de nuevas tecnologías.
- Los especialistas mexicanos han comenzado a ser reconocidos por su capacidad en el diseño industrial.
- Se cuenta con más de 100 instituciones educativas que ofrecen la especialidad de mecatrónica en sus distintos niveles, con un importante número de egresados.
- La industria maquiladora en México tiene procesos cada vez más automatizados.
- Existen grupos que impulsan la integración de la actividad en México.
La Asociación Mexicana de Mecatrónica invita empresarios a sus congresos de estudiantes.

OPORTUNIDADES

- La franja fronteriza de México con el país mas industrializado del mundo.
- Acuerdos y tratados internacionales comerciales.
- Se cuenta con disposición de los sectores industriales para incorporar la mecatrónica en sus procesos.
- Explotar los nichos en los que México cuenta con ventajas competitivas.
- Amplio mercado potencial.



- Aprovechamiento de acuerdos de colaboración internacional en materia de ciencia y tecnología.
- Existen opciones pertinentes para la formación y capacitación de recursos humanos.
- Fortalecimiento de grupos y asociaciones de mecatrónica.
- Involucramiento de proveedores en el desarrollo de proyectos de investigación y creación de nuevos procesos y productos.

DEBILIDADES

- La infraestructura básica de investigación y desarrollo es insuficiente.
Es difícil que la mecatrónica en nuestro país se desarrolle por si sola se deben desarrollar todas las ramas de la ingeniería para conjuntarse en una sola
- No se cuenta con masa crítica para investigación y desarrollo en las plataformas tecnológicas con capacidades para su desarrollo en México.
- Carencia de un programa nacional de Mecatrónica.
- Escaso presupuesto fiscal dedicado a la CyT, por ende a la mecatrónica.
- Falta de conocimiento de la mecatrónica en el ámbito industrial.
- Dependencia tecnológica del exterior.
- Amplio sector de PyMEs sin capacidad de inversión en tecnologías.
- Falta de cultura empresarial en inversiones de riesgo.
- Desconfianza empresarial hacia desarrollos mexicanos.
- La vinculación escuela – industria es deficiente, prácticamente nula.
- Las currículas de las instituciones no se diseñan partiendo de las necesidades de las empresas y de las políticas nacionales de industrialización.
- Subutilización de los ingenieros mecánicos en el ámbito industrial.
Las mismas empresas no contratan a los ingenieros mecánicos como tales, sino que los utilizan para cosas distintas a su rama (electrónica, eléctrica, software)
- Los profesores de mecatrónica no son ingenieros mecánicos ni cuentan con la experiencia suficiente como formadores en el tema.
mezcla de ingenieros mecánicos, eléctricos y de sistemas. No se cuenta con la experiencia suficiente como formadores en mecatrónica.
- Falta de credibilidad hacia los programas de apoyo.



AMENAZAS

- Ampliación de la brecha tecnológica con respecto a países más avanzados.
- Paradigmas generacionales sobre el desarrollo tecnológico. Hay una barrera en función de la brecha generacional, a los industriales de mas edad no les gusta el concepto de mecatrónica prefieren automatización y control, además de que lo relacionan con el despido de persona.
- Pérdida de ventajas competitivas como país ante la competencia de otros países debido a la falta de desarrollo tecnológico.
- Crisis financiera en el ámbito internacional.
- Cambios imprevistos en las prioridades nacionales.

CONCLUSIONES

- Es un término poco utilizado, el éxito de la mecatrónica depende de cómo se de a conocer.

El término, en la mayoría de los casos, es mas aceptado como automatización y control o robótica.

Aunado a lo anterior, se ubicó un desconocimiento y/o rechazo generacional al término mecatrónica, donde los ingenieros de producción o equivalentes, con mayor antigüedad en las empresas, preferían los términos convencionales de ingeniería mecánica y electrónica.

Por lo anterior, es de suma importancia ubicar con precaución la forma como se promoverá el término mecatrónica y la posible inclusión de programas o apoyos asociados al concepto.

- Se busca que entren más mexicanos como proveedores de tecnología mecatrónica.

Tomando el mercado actual como base de partida, se detectó una proveeduría de tecnología desarrollada en el extranjero que, bajo ciertas condiciones, podría ser sustituida en ciertos nichos de mercado por proveedores mexicanos, sobretodo en empresas integradoras (de nuevo interpretar este concepto según lo explicado en páginas anteriores).

- Como aprovechar los fondos de colaboración internacional

Dada la mayor experiencia de algunos países en el uso de la tecnología mecatrónica y en aras de acortar el tiempo de adopción que dichos países esperaron por una cuestión de madurez de las propias tecnologías, se deberían aprovechar los fondos disponibles que incentivan la colaboración con especialistas internacionales.



- Integrar una asociación estratégica que concilie los intereses y necesidades de los sectores gubernamental, académico y empresarial.

Esta conclusión se da a partir del común denominador que existió en los países que en su momento adoptaron la tecnología mecatrónica cuando ésta emergía, y que implicaba la colaboración gobierno-academia-empresa obteniendo una sinergia en el desarrollo de proyectos que alineaban los intereses de los participantes y que impulsó el desarrollo económico de varios agrupamientos industriales, la inclusión de mas profesionales capacitados en el tema y la mayor productividad a partir de la disminución de costos y la mejora de la calidad de productos terminados.

d. Estrategias y nichos en los que México tiene o puede desarrollar ventajas competitivas y estrategias para aprovecharlos

Como resultado del análisis sectorial mostrado en la matriz de oportunidad (pág.86), se observa que el sector automotriz en México es el que presenta un mayor uso de tecnologías avanzadas y una mayor disposición para adoptar tecnologías mexicanas. Por otra parte, existen nichos naturales con los que cuenta el país como la explotación de recursos minerales y el sector agroindustrial en los cuales se considera que la mecatrónica tiene amplias posibilidades de desarrollo.

Sector Automotriz.- Derivado de la importancia y cobertura de este sector industrial en el país (14 fabricantes de vehículos y más de 1,000 fabricantes de auto partes en 20 estados de la república), se considera como una de las áreas de mayor relevancia para el desarrollo e implementación de sistemas mecatrónicos que abarcarían desde micro y pequeñas industrias proveedoras, hasta las grandes empresas transnacionales fabricantes de vehículos automotores.

Estrategias:

1. Incrementar los recursos económicos dedicados a la ciencia y la tecnología en el presupuesto federal buscando igualar las proporciones respecto al PIB que tienen países con niveles similares de desarrollo (alrededor del 1%).
2. Apoyar a las empresas proveedoras de la industria para la adopción de nuevas tecnologías mecatrónicas que incrementen su competitividad a nivel internacional.
3. Incentivar el aumento en la proporción de integración nacional de los productos automotrices mediante incentivos específicos dirigidos a las grandes empresas automotrices.
4. Establecer una red nacional específica para el área de proveeduría automotriz detectando a las empresas involucradas y a las instituciones públicas y privadas que desarrollan proyectos en el área apoyando económica y logísticamente la creación de la red designando una institución líder que sea la responsable de su operación.
5. Flexibilizar la legislación vigente para hacer más atractiva la inversión privada en la investigación, desarrollo e innovación de sistemas mecatrónicos dirigidos a esta industria.
6. Elaborar, en conjunto con las empresas del sector, una currícula adecuada para su adopción por parte de las instituciones de educación que imparten la especialidad de mecatrónica.
7. Crear un sistema de incentivos fiscales para las empresas que inviertan en el desarrollo e implementación de estas nuevas tecnologías.
8. A través de los mecanismos de apoyo a la investigación vigentes, privilegiar proyectos relacionados con la mecatrónica que cuenten con el apoyo y participación de usuarios potenciales para su implementación.

9. En algunas Universidades y Compañías de la Unión Americana, se establecen políticas en materia de propiedad que no solo reconocen a los autores de alguna tecnología, sino a que al menos un porcentaje del usufructo de esa propiedad les es entregado al o los autores, lo que ha motivado que se den mayores desarrollos, por lo que se sugiere como estrategia incentivar a las instituciones y/o empresas que adopten políticas similares con apoyos que durante un periodo de tiempo determinado impulsen el crecimiento de desarrollos “Hechos en México” y que de entrada nazcan licenciados a empresas que comercialicen de manera automática dichas innovaciones.

Recursos Minerales.- Derivado de la fortaleza con la que cuenta el país en la disponibilidad de recursos minerales y la oportunidad mencionada anteriormente de explotar los nichos en los que se cuenta con ventajas competitivas, resulta atractivo desarrollar nuevas tecnologías para la explotación y beneficio de estos recursos con procedimientos basados en sistemas mecatrónicos que permitan hacer mas eficientes los procesos productivos disminuyendo los costos de operación. Esta actividad económica aportó alrededor de 144 mil millones de pesos al PIB durante 2007 y se espera un crecimiento del 2.3% durante el presente año⁴³.

Estrategias:

1. Incrementar los recursos económicos dedicados a la ciencia y la tecnología en el presupuesto federal buscando igualar las proporciones respecto al PIB que tienen países con niveles similares de desarrollo (alrededor del 1%).
2. Establecer una red nacional específica para el área de recursos minerales detectando a las instituciones públicas y privadas que desarrollan proyectos en el área y apoyar económica y logísticamente la creación de la red designando una institución líder que sea la responsable de su operación.
3. Crear un sistema de incentivos para las grandes empresas nacionales y extranjeras que operan en el país con el objeto de que inviertan en el desarrollo e implementación de nuevas tecnologías.
4. Fomentar el asociacionismo entre pequeños productores para que logren economías de escala y tengan acceso a la implementación de nuevas tecnologías que les permitan incrementar la rentabilidad de sus operaciones.
5. Fomentar la formación de recursos humanos de alto nivel en esta especialidad propiciando su inserción en las áreas de investigación institucionales y del sector productivo.

⁴³ Banamex con datos del INEGI, 2008

6. Modificar la legislación vigente relativa a la propiedad intelectual de tal manera que se permita la participación de los desarrolladores de tecnología en la aplicación de los resultados obtenidos.
7. Privilegiar el establecimiento de nuevas empresas de alta tecnología y con alto grado de integración que minimicen el impacto ambiental con sus operaciones.

Sector Agroindustrial.- Basados en el carácter deficitario de la producción de alimentos agrícolas en México y en que cerca del 25% de la población nacional pertenece al sector rural⁴⁴, 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. El crecimiento del sector agropecuario se estima alrededor del 4% para 2008, superior al índice nacional⁴⁵.

Estrategias:

1. Incrementar los recursos económicos dedicados a la ciencia y la tecnología en el presupuesto federal para el sector agroindustrial, buscando igualar las proporciones respecto al PIB que tienen países con niveles similares de desarrollo.
2. Establecer una red nacional específica para agroindustria.- Detectar las empresas, asociaciones e instituciones públicas y privadas que desarrollan proyectos en el área y apoyar económica y logísticamente la creación de la red designando una institución líder que sea la responsable de su operación.
3. Involucrar desde un inicio, a las instancias gubernamentales pertinentes, a las asociaciones de productores agrícolas y a las empresas productoras de alimentos en la conformación de un plan nacional de desarrollo para el campo mexicano.
4. Aprovechar los apoyos internacionales existentes para el crecimiento económico de los países en vías de desarrollo. Utilizar los mecanismos existentes en los tratados y convenios internacionales que tiene México con los países más desarrollados.
5. Realizar un análisis serio sobre los avances y resultados que los países líderes en esta materia han obtenido buscando alianzas estratégicas que eviten la duplicidad de esfuerzos.
6. Reformar nuestro sistema educativo para darle a la ciencia y la tecnología el lugar que les corresponde de acuerdo al entorno mundial haciendo énfasis en la formación de recursos humanos calificados de acuerdo con estándares internacionales.

⁴⁴ INEGI/Conteo de población y vivienda 2005

⁴⁵ Banamex con datos del INEGI, 2008

e. Estrategias para que en México las empresas de los distintos sectores económicos adopten el uso de las tecnologías mecatrónicas

La incorporación de nuevas tecnologías por parte del sector productivo es por lo general un proceso lento que requiere del convencimiento por parte de los empresarios de que dichas tecnologías representan ventajas cualitativas y cuantitativas para la operación de sus empresas.

En base a los resultados del presente estudio, se muestra que México padece un rezago tecnológico en la adopción de innovaciones en el área de la mecatrónica con respecto a los países industrializados. Aquí se sugieren algunas estrategias para que las empresas mexicanas adopten el uso de nuevas tecnologías mecatrónicas que les permita elevar su nivel tecnológico y por consecuencia, su competitividad:

- Promocionar mediante campañas publicitarias dirigidas, las ventajas que a nivel mundial ha representado el uso de la mecatrónica para las micro, pequeñas, medianas y grandes empresas.
- Organizar y difundir en conjunto con instituciones educativas, eventos nacionales que desarrollen la creatividad de los estudiantes de ingeniería para el diseño, elaboración y aplicación de sistemas mecatrónicos.
- Establecer un programa de estímulos fiscales y financiamiento para la adquisición de maquinaria y equipo a tasas preferenciales que promueva la adopción de nuevas tecnologías por parte de la pequeña y mediana industria.
- Apoyar la creación y operación de un organismo coordinador de las acciones dirigidas a la promoción, vinculación y desarrollo de la mecatrónica en el país, con representaciones estatales o regionales.
- Crear un panel de expertos que por medio del organismo coordinador, brinde asesoría y apoyo tanto al sector productivo para la adquisición de nuevas tecnologías, como a las instituciones de educación que tengan o pretendan tener programas mecatrónicos.
- Diseñar e implementar esquemas y mecanismos efectivos de vinculación escuela – empresa y centro de investigación – empresa mediante los cuales todas las partes obtengan beneficios para procurar esta vinculación.
- Formular el contenido de la currícula para nivel técnico, licenciatura y postgrado en mecatrónica de acuerdo con las necesidades de la industria y los segmentos a desarrollar por interés nacional.
- Crear una red nacional de mecatrónica que brinde soporte y promueva la comunicación y vinculación de las empresas e instituciones involucradas en el tema.



- Establecer un arbitraje con facultades para dar seguimiento a los acuerdos que establezcan las partes involucradas en el tema de propiedad intelectual y transferencia de tecnología.
- Fortalecer la infraestructura nacional para la investigación, desarrollo e innovación tomando en cuenta las necesidades tanto de la industria como de las instituciones de investigación y desarrollo.
- Otorgar apoyos gubernamentales a las instituciones nacionales de investigación para la creación de programas interdisciplinarios de ingeniería con mentalidad empresarial relacionados con el campo de la mecatrónica.
- Fomentar y crear mecanismos de apoyo para la creación de incubadoras y parques científico – tecnológicos de acuerdo a las vocaciones de las distintas regiones en el área de mecatrónica.
- Promover la interacción interdisciplinaria con organismos de investigación y desarrollo internacionales que propicien el intercambio de conocimiento y la adopción de nuevas tecnologías.

La implementación de las estrategias mencionadas, permitirá a las empresas mexicanas la adopción de nuevos sistemas mecatrónicos dentro de sus procesos productivos que elevarán su competitividad dentro del mercado global, contribuyendo de manera más eficiente al desarrollo económico del país.

IV. Lista de Contactos Estratégicos

En base a los resultados obtenidos de entidades industrializadas y el listado de instituciones que ofrecen estudios e investigación en el área de mecatrónica se ha establecido las características de los expertos calificados que tienen una opinión e influencia preponderante de la Mecatrónica en México.

Estas características son:

- Profesionista activo en el área de mecatrónica
- Capacidad de voz y voto que puede influenciar toma de decisiones importantes
- Han impulsado e intervenido para el establecimiento y consolidación del área
- Experiencia en docencia, investigación y desarrollo tecnológico en mecatrónica

De esta manera la lista queda conformada por:

A. Comité Ingeniería y Tecnología. Foro Consultivo de la Cámara de Diputados

Dr. Jaime Eugenio Arau Roffel – CENIDET

Dr. Juan Carlos Antonio Jáuregui Correa - CIATEQ

M.C. Carlos Maroto Cabrera – Consultor independiente

Dr. Oscar Armando Monroy Hermosillo - UAM

Ing. Ángel Ramírez Vázquez - CIATEQ

Dra. Cristina Verde Rodarte – UNAM-Instituto de Ingeniería

B. Instituciones públicas

Cinvestav: Dr. Jaime Álvarez, Dr. Vicente Parra

CIATEQ: Dr. Rogelio Álvarez Vargas/M. en C. Baquero

CIDESI: Dr. Carlos Rubio, Dr. Carlos Pedraza

UNAM: Dr. Jesús Manuel Dorador, Dr. Saúl Santillán

Sistema de Universidades Tecnológicas: Ing. Hugo Moreno

Universidad Autónoma de Querétaro: Dr. Gilberto Herrera

C. Instituciones privadas

ITESM: Dr. Dante Dorantes, campus Guadalajara, Dr. Marco Iván Sosa Morán, campus Saltillo

Universidad del Valle de México: M en I Gregorio Monsivais, Campus Querétaro.

D. Grupos del Programa Especial de Ciencia y Tecnología

• Dr. Gilberto Herrera Ruiz – Univ. Autónoma de Querétaro

• Dr. Juan Carlos Antonio Jáuregui Correa – CIATEQ-Aguascalientes

• M. en C. Carlos Maroto Cabrera – Consultor independiente

• Dr. Gerardo Ruiz Chavarria – UNAM Fac. de Ciencias

• Dr. Esteban Villanueva Villanueva – Asociación Mexicana de Promotores de Negocios Tecnológicos.



Estado	Institucion	Contacto	Email	Telefono
Ags	ITESM campus Aguascalientes	Raul Gutierrez Perucho (coord)	raul.gutierrez@itesm.mx	(449) 910.0900 x 5151
	Universidad Bonaterra	Ricardo Macias Quijas Coord gral	rmacias@ags.up.mx	910 6216x 7167
	Universidad Politécnica de Aguascalientes	M.C. Juan Fernando Aguirre Sámano	fernando.aguirre@upa.edu.mx	(449) 442.8058, 59 y 60
	Universidad Tecnológica de Aguascalientes			Tel.Directo: 976-07-29 Larga distancia: (01449)9105000
	UVM-Ags	Ing. Claudia Jackeline Rios Jaime Coordinador de Carrera	claudia.riosj@uvmnet.edu	Tel: (449) 910.28.10 ext. 13686
B.C.	Instituto tecnologico de Mexicali	MC Marco Antonio Rodríguez Vera	coaxtla_marco@hotmail.com, cmecatronica@itmexicali.edu.mx	5-80-49-56
	Centro de Enseñanza Técnica y Superior	Ing. Mauro Chávez López		(686) 567-3708
	Universidad autonoma de Baja California			(686) 553-42-36
	Campus Mexicali	M.C. Miguel Ángel Martínez Romero ext 1300		(686) 566-4270
	Campu Tecate	Ing. Alejandro Rojas Magaña ext 2800		(665) 654-3340
	Universidad Politécnica de Baja California Norte	Javier Rivera Castillo, Director de Ingeniería en Mecatrónica	jrivera@upbc.edu.mx	(686) 556 1821 x 109
	UVM-Bcalifornia-Mexicali			(686) 9067997
Chiapas	ITESM campus Chiapas		idecoss@invitados.itesm.mx	(961) 617.6000
	Universidad Politécnica de Chiapas	MC. Fabio Fernández Ramírez Director del programa académico	fabio.fernandez@upchiapas.edu.mx	01961 61 204-84
	Universidad del Valle de México campus Tuxtla	Dr. Mario Angel Pola Mejia mpola@uvmnet.edu	mpola@uvmnet.edu	(961) 617.0210, Exts. 18660 y 18661
Chihuahua	ITESM campus Chihuahua		casa.chi@itesm.mx	(614) 439.5000, 439.5060
	Instituto Tecnológico de Ciudad Cuauhtemoc*			Av tecnologico s/n CP 31500 Tel (625) 581 1707
	Universidad La Salle	M.C. Luis Bejarano Ponce	ing@ulsachihuahua.edu.mx	(614) 432-14-78 ext 2065
	ITESM campus Cd Juarez		casa.cdj@itesm.mx	(656) 629.9100
	Universidad Autónoma de Ciudad Juárez	Ing. Jorge Antonio Guzmán ext 4743	jguzman@uacj.mx	(656) 688.2100 al 09
	Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez			Ave. Universidad Tecnológica 3051 TEL: (656) 649-0608
Coahuila	IT de Estudios Superiores de la Región Carbonífera		itesrc@itesrc.edu.mx	(861) 613.3607, 613.3742
	Instituto Tecnológico de Saltillo	Ing. Anastasio Bustos	mecanica@its.mx	(844) 438.9500
	ITESM campus Saltillo	Salvador Eduardo Ramirez Brambila	salvador.ramirez@itesm.mx	(844) 411.8000
	Universidad del Valle de México Saltillo			(844) 4 85 17 87, 88 y 89
	ITESM campus Laguna		gaw@campus.lag.itesm.mx	(871) 7296363
	Universidad del Valle de México Torreon			(871) 749 03 20
	Instituto tecnologico de la laguna	Ing. Javier Arredondo Valle coordinador	coord_administracion@itlaguna.edu.mx	
Colima	ITESM campus Colima		isalazar@itesm.mx	(312) 313.5600
	Instituto Tecnológico de Colima	olimpolua M en C Olimpo Lua Madrigal	olimpolua@yahoo.com.mx	(312) 312.9920, 314.0933, 312.6393
	Universidad Tecnológica de Coahuila*			
	Universidad Tecnológica de Torreón			
	Universidad Tecnológica del Norte de Coahuila*			



Distrito Federal	Instituto Politécnico Nacional, UPIITA			
	Universidad Panamericana	Ing. Alfredo González	agonzale@mx.up.mx	(55) 5482.1600, 5482.1700
	Universidad Nacional Autónoma de México	Dr Jesús Manuel Dorador González	dorador@servidor.unam.mx	(52) 5622 - 80 - 50 al 51 (ext 117 y 118)
	Universidad La Salle	Octavio Rodríguez	promocion@ulsa.edu.mx	(55) 5278.9500, Ext. 1023
	IPN Campus: Unid Prof Interdis en Ing y Tec Av	Ramón Herrera Ávila	spuga@ipn.mx	(55) 5729.6000 Ext. 56814
	ITESM campus Santa Fe	DR patricia caratozzolo	pcaratozzolo@itesm.mx	(55) 9177.8000
	Universidad Anáhuac México Sur	Dr. Mauricio Méndez	mauricio.mendez@anahuac.mx	(55) 5628.8800 x 225
	Universidad Iberoamericana	Concepcion Ramirez	concepcion.ramirez@uia.mx	(55) 5950-4000
	ITESM campus Cd de Mexico	Ing. Eugenio Aguilar	eaibarra@itesm.mx	(55) 5483.2020
	Universidad del Valle de México Campus: Tlalpan	Manuel Ulises Arevalo Soto	marevalos@uvmnet.edu	5238 - 5300 Ext. 4213
	Universidad Marista		ingenieria@umarista.edu.mx	(55) 5063.3070, 5063.3099
	Universidad de la Republica Mexicana		www.unirem.edu.mx	Tel. 5037-0100
	Universidad CUIN	Coordinador de la Licenciatura en Ingeniería en Mecatrónica y Producción	Correo-e: ings@uia.mx	Tel.: 5950-4277 Tel.: 5950-4000 ext. 7419
	Universidad ICEL		informesicel@icel.edu.mx www.icel.edu.mx	Col. Santa Martha Acatitla Tel. (55) 53 50 91 Av. Ermita Iztapalapa Tel. (55) 56 14 73 14
	UNITEC-DF			
	Durango			
	Instituto Tecnológico de Durango	8290900 x 126 ing pablo cruz director de metal mecanica	pablocruzpaz@yahoo.com.mx	(618) 818.5706, 829.0908
	ULSA Laguna			
Estado de Mexico	ITESM campus edo de México	Daiishi Murano	casa.cem@servicios.itesm.mx	(55) 5864.5555
	Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco	MANUEL BENJAMÍN ORTIZ MOCTEZUMA	subinq_mes@tesco.edu.mx	21594325, 21594468 ext 122
	Universidad del Valle de México campus Hispano			(55) 5000.3100
	Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec	M. en C. José Alfredo Pineda Cruz	jpineda@tese.edu.mx	(55) 5000.2300 ext 2329
	Universidad Anáhuac campus Norte	Dra. María Elena Sánchez Vergara	anahuac@anahuac.mx	(55) 5627.0210
	Instituto Tecnológico de Toluca	ING. SERGIO ORTÍZ GARCÍA	mecanica@ittoluca.edu.mx	(722) 208.7200
	Universidad del Valle de México campus Toluca			(722) 232.9851, 232.9852, 232.9853
	Univer del Valle de México-Iomas Verdes			(55) 5238.7300 Ext 10025, 27,28
	Instituto Tecnológico de Tlalnepantla	Ing. A. Elías Bernal Alcántara	ebernalitla@hotmail.com	(55) 5390.0209, 5390.0310, 5565.3099
	ITESM campus Toluca		promocion.tol@itesm.mx	(722) 279.9990
	Universidad Politécnica del Valle de México	JUAN MARTIN ALBARRAN JIMENEZ	malbarran@upvm.edu.mx	(55) 2159.0499, 2159.1899
	Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco*		tesco2@prodigy.net.mx www.tesco.edu.mx	Tel: (55) 2159.4324, 2159.4325, 2159.4468 Fax: (55) 3004.0984, 3004.0985
	Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec*		www.tese.edu.mx División de Ingenierías Industrial y Mecatrónica	Tel: (55) 5000.2300 www.tese.edu.mx División de Ingenierías Industrial y Mecatrónica ext. 2329
	Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán*			
	Tecnológico de Estudios Superiores de Jilotepec*			
	Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán*			
	Universidad Tecnológica del Sur del Edo de México		Ex - Hacienda San Miguel Ixtapan, Km. 12 Carretera Tejupilco - Amatepec, Tejupilco de Hidalgo	Telefono: (01 724) 2 69 40 17



Gto	Instituto Tecnológico Superior de Irapuato		electromecanica@itesi.edu.mx	(462) 606.7900, 633.2075
	ITESM campus Irapuato			(462) 623.0944
	ITESM campus Leon			(477) 710.9000
	Universidad de Guanajuato campus FIMEE	Jaime Rivas, Rene	rjaime@salamanca.ugto.mx	(464) 648.0911
	Universidad de Guanajuato		fimee@salaman.ugto.mx	(464) 648-0911, 648-0386
	ULSA-Bajo		Av. Universidad No. 602 Lomas del Campestre 37150 León, Guanajuato México informes@delasalle.edu.mx haino.delasalle.edu.mx	Tel: (477) 710.8500 Fax: (477) 718.5511
	Universidad Tecnológica de León		Bldv. Universidad Tecnológica 225, Fracc. San Carlos 37670, Guanajuato rector@utleon.edu.mx	Tel. (477) 710-00-20
	León			
Guerrero				
Hidalgo	ITESM campus Hidalgo		casa.hgo@itesm.mx	(771) 717.1855
	Universidad La Salle campus Pachuca		rpublicas@correo.ulsapachuca.edu.mx	(771) 7.0213 o al 01.800 22 SALLE
	Universidad politecnica de tulancingo			
Jalisco	Universidad autonoma de Guadalajara	M.A. Manuel Uriarte Razo	muriarte@uag.mx	(0133) 364-88 INF (463) Ext. 32225
	Centro de Enseñanza Técnica Industrial		Calle Nueva Escocia, 1885, Fracc. Providencia, Guadalajara, Jalisco, México CP 44620, Tel. (33) 36413250	
	Universidad Autónoma de Nuevo León	ING. FRANCISCO RAMÍREZ CRUZ		(81) 8329-4020 EXT. 5801
	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla	M. C. Rodolfo Fernando Porras Sánchez	rcid@ece.buap.mx	229 55 00 EXT: 7401
	Universidad Popular Autónoma Estado de Puebla	Mtro. Ricardo López Fabre	ricardo.lopez@upaep.mx	(222) 2299438 ext. 438
	Universidad Autonoma de Querataro	Dr. Rodrigo Castañeda Miranda	rcast@uag.mx	(442) 1 92 12 00 Ext. 6086 ó 6014
	Universidad Autonoma de San Luis Potosi		Ingenieri@uaslp.mx	(444) 826-2330 al 23.32
	ITESM-Gdl	Av . General Ramón Corona No. 2514 Nuevo México 45138 Zapopan, Jalisco México	www.gda.itesm.mx	Tel: (33) 3669.3000 Lada sin costo: 01.800 966.9300
	Universidad Autónoma de Guadalajara	Av. Patria 1201, Lomas del Valle, 3ra Sección, A.P. 1-440 44100 Guadalajara, Jalisco México	uag@uag.edu http://www.uag.mx/default.htm	Tel: (33) 36 488 463 (informes) (33) 36 488 824 (conmutador) Lada sin costo: 01 800 36 836 00
	Universidad de Guadalajara*			
	Universidad del Valle de Atemajac			
	Universidad Panamericana-Gdl	Calzada Circunvalación Poniente No. 49 Ciudad Granja 45010 Guadalajara, Jalisco México	www.up.mx/sede.php?fdoc=16&fcategoria=1	Tel: (33) 3679.0708
	Universidad Politécnica -Jal	Leerdo de Tejada No. 45 esq. Aguirre, frente a Ministerio Público Tlaomulco de Zúñiga, Jalisco	informes@upzmg.edu.mx	Tel. 13 68 39 49/50/51
	UNITEC			(33) 37 77 02 22
	Universidad Tecnológica de la Zona Metropolitana de Guadalajara*	Venustiano Carranza # 21 Col. Santa Cruz de las Flores 45640 Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco		Tel. 01 (33) 37.96.40.02 37.,96.40.04, 37.96.02.86 Fax. 01 (33) 37.96.40.02
	UVM-Gdl	Periférico Sur No. 8100 Santa María Tequepexpan 45601 Tlaquepaque, Jalisco México	www.guadalajara.uvmnet.edu	PTel: (33) 3669.8400 Lada sin costo: 01.800 888.6010 www.guadalajara.uvmnet.edu
Michoacán	ITESM-Morelia			
	Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Uruapan*			
	Inst Tecnológico Superior de Cd. Hidalgo	Av. Ingeniero Carlos Rojas Gutierrez 2120 Valle de la Herradura, Cd. Hidalgo Michoacan	letysac@gmail.com fisa57@hotmail.com itschmich@gmail.com www.itsch.edu.mx	(786) 15 4 30 53, 15 4 36

Morelos	ITESM-Cuernavaca	Paseo de la Reforma No. 182-A Lomas de Cuernavaca 62589 Temixco, Morelos México	casa.mor@servicios.itesm.mx www.mor.itesm.mx	Tel: (777) 329.7100
	Universidad del Sol	Cuautila No. 130 Miraval 62270 Cuernavaca, Morelos México	info@unisol.edu.mx www.unisol.edu.mx	Tel: (777) 312.6721, 352.0210 al 13
	ULSA-Cuernavaca	Nicolás Bravo No. 406 esq. Nueva Inglaterra San Cristóbal 62230 Cuernavaca, Morelos México	informes@ulsac.edu.mx www.cvca.ulsac.mx	Tel: (73) 11.5525 Fax: (73) 11.3528
	UVM-Cuernavaca			
	Cenidet	M.C. José Luis González Rubio Sandoval Coordinador del Programa de Especialización en Ingeniería Mecatrónica	E-mail: glezrubio@cenidet.edu.mx	Tel. y Fax : (777) 362-7775 (directo), 362-7770 ext.: 149
Nuevo León	ITESM-Mty	Av. Eugenio Garza Sada No. 2501 Tecnológico 64849 Monterrey, Nuevo León México	admisiones.mty@itesm.mx www.mty.itesm.mx	Tel: (81) 8358.2000 Lada sin costo: 01800 8323.3689
	Universidad Autónoma de Nuevo León*	Av. Pedro de Alba S/N Ciudad Universitaria 66450 San Nicolás de la Garza, Nuevo León México	mcovarru@ccr.dsi.uanl.mx www.uanl.mx	Tel. 83294227 Fax. 83294025 Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Tel. 83524690
	Universidad de Monterrey	Av. Ignacio Morones Prieto No. 4500 Poniente 66238 San Pedro Garza García, Nuevo León	admisiones@udem.edu.mx www.udem.edu.mx	Tel: (81) 814.1010
	UNITEC	(81) 8121 99 90	(81) 8121 99 90	(81) 8121 99 90
	Universidad Regiomontana			
Oaxaca	Universidad Tecnológica de la Mixteca*	Km. 2.5 carretera a Acatlima 69000 Huajuapán de León, Oaxaca	escolar@nuyoo.utm.mx www.utm.mx	Tel: (953) 532.0214, 532.0399, Ext. 110 y 111
	Universidad del Papaloapan	Campus Loma Bonita: Av. Ferrocarril s/n, colonia CD. Universitaria, C.P. 68400, Loma Bonita, Oaxaca.		Tel: 01 (287) 875 9240
Puebla	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*	Edificio Carolino, 4 Sur No. 104 Centro 72000 Puebla, Puebla	www.buap.mx	Tel: (222) 229.5500
	ITESM-puebla	Vía Atlxycáyotl No. 2301 San Andrés Cholula 72800 Puebla, Puebla	ingresos.pue@servicios.itesm.mx www.pue.itesm.mx	Tel: (222) 303.2000 Lada sin costo: 01.800 201.5915
	Instituto Tecnológico de Atlixco*			
	Instituto Tecnológico 36 Tehuacán*	Instituto Tecnológico de Tehuacán · Tehuacán, Puebla ·		Telefono: (238)382 24 48
	Instituto Tecnológico Superior de Zacapoaxtla*	Km. 8 carretera Acuaco-Zacapoaxtla Totoltepec 74610 Zacapoaxtla, Puebla México	tecnologico@itsz.edu.mx www.itsz.edu.mx	Coordinador de Ingeniería Mecatrónica Tel.: 01 233 31 72000, 72001, 72002 y 72003 ext. 15
	Universidad de las Américas	Ex Hacienda Santa Catarina Mártir 72820 San Andrés Cholula, Puebla México	claudia.olivares@udlap.mx	Tel: 01 (222) 229 22 75 Ext: 2275
	Universidad Anáhuac-puebla	Orión Norte S/N Emiliano Zapata 72810 Puebla, Puebla México	emaza@anahuacpuebla.org www.anahuacpuebla.org	Tel: (222) 169.1069 Lada sin costo: 01.800 623.9291
	Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla	21 Sur No. 1103 Santiago 72160 Puebla, Puebla México	admission@upaep.mx www.upaep.mx rector@upaep.mx Dirección de Innovación y Tecnología Educativa dir.centrodetecnologiaeducativa@upaep.mx	Tel: (222) 229.9400 Lada sin costo: 01.800 224.2200
	Universidad Tecnológica de Puebla	Antiguo Camino a la Resurrección 1002-A Frac. Zona Industria, Puebla 2000 72300 Puebla, Puebla	utp@spersa.com.mx y utp@puebla.podernet.com.mx info@utpuebla.edu.mx	(222) 282 85 18 al 23 Tel. rectoría (222) 282 85 29
	UVM-Puebla	Camino Real a San Andrés Cholula Emiliano Zapata 72810 San Andrés Cholula, Puebla	www.puebla.uvmnet.edu	Tel: (222) 285 71 83 al 94 Lada sin costo: 01.800 888.6010
Querétaro	Instituto Tecnológico de Querétaro*	Av. Tecnológico S/N, esq. con Mariano Escobedo Centro 76000 Querétaro, Querétaro México	dda@itq.edu.mx www.itq.edu.mx	Tel: (442) 216.3597 Fax: (442) 216.9931
	ITESM-Qro	Epigmenio González No. 500 Frac. San Pablo 76130 Querétaro, Querétaro México	admisiones@qro.itesm.mx www.qro.itesm.mx	Tel: (442) 238.3100
	Universidad Politécnica de Querétaro	Calle 1, esq. Calle 3 Parque Tecnológico Querétaro 76703 Sanfandila del Municipio de Pedro Escobedo, Qro.	http://www.upq.edu.mx	Tel. (442) 211 1600 Fax. (442) 211 1600
	UVM-Qro	Blvd. Villas del Mesón No. 1000 Provincia Juriquilla 76230 Querétaro, Querétaro México	www.queretaro.uvmnet.edu	Tel: (442) 211.1900, Exts. 11031 a la 11035, 211.1969



San Luis Potosí	ITESM	Av. Eugenio Garza Sada No. 300 Fracc. Lomas del Tecnológico 78211 San Luis Potosí, San Luis Potosí México	admisiones.slp@servicios.itesm.mx www.slp.itesm.mx	Tel: (444) 834.1000 Fax: (444) 834.1039 Lada sin costo: 01.800 288.8757
	Instituto Tecnológico de San Luis Potosí*	Av. Tecnológico s/n, Km. 1 carretera a RioVerde Soledad de Graciano Sánchez 78437 San Luis Potosí, San Luis Potosí	difusion@itslp.edu.mx www.itslp.edu.mx Dirección tecdir@itslp.edu.mx	Tel: (444) 818.2136, 818.2293, 818.2274 Fax: (444) 818.3131
	Instituto Tecnológico Superior de San Luis Potosí*			
	Universidad Marista de San Luis Potosí	Venustiano Carranza No. 1003 Tequisquiapan 78250 San Luis Potosí, San Luis Potosí	informes@champagnat.edu.mx www.champagnat.edu.mx	Tel: (444) 833.2410, 833.6817
	UVM-SLP	Av. Robles 600 Fracc. Jacarandas 78220 San Luis Potosí, San Luis Potosí	www.sanluispotosi.uvmnet.edu	Tel: (444) 826.0040, Exts. 17025 y 17026
Sinaloa	Universidad Politécnica de Sinaloa	Calle Niños Héroe 1413 Esq. Constitución Col. Centro 82000 Mazatlán, Sinaloa México	http://www.upsin.edu.mx	Tel. (669) 982 4886 (669) 982 4888 Fax. (669) 982 4886
	Instituto tecnologico de Culiacan			
	UNITEC			(667) 1 46 62 22
Sonora	ITESM-Cd Obregon	California No. 2100 Norte Obregón Norte 85010 Ciudad Obregón, Sonora México	webmaster.cob@itesm.mx www.cob.itesm.mx	Tel: (644) 410.5700 Fax: (644) 410.5705 Lada sin costo: 01 800 7164 825
	ITESM-Sonora Norte	Bldv. Enrique Mazón López No. 965 83000 Hermosillo, Sonora México	camezcua@itesm.mx www.her.itesm.mx	Tel: (662) 259.1000
	Instituto Tecnológico de Hermosillo			
	Instituto Tecnológico de Huatabampo*	Av. Tecnológico S/N Unión 85994 Huatabampo, Sonora	difusiondddd@yahoo.com.mx www.ithua.edu.mx	Tel: (647) 426.1477
	Instituto Tecnológico Superior de Cajeme*	Km. 2 carretera Internacional a Nogales 85050 Ciudad Obregón, Sonora México Responsable de la Maestría en Ingeniería Mecatrónica (644) 4108650 Ext. 1501	itesca@itesca.edu.mx www.itesca.edu.mx	(644) 4108650 Ext. 1501
	ULSA-Noroeste	Veracruz S/N, Norte Fraccionamiento Obregón Norte 85019 Ciudad Obregón, Sonora	promocion@ulsa-noroeste.edu.mx www.ulsa-noroeste.edu.mx	Tel: (644) 410.6000 Fax: (644) 410.6003
	Universidad del Noroeste	Km. 6.5 carretera Internacional a Nogales 83169 Hermosillo, Sonora México	informa@villa1.uno.mx www.uno.mx	Tel: (662) 280.0043, 280.0433 Lada sin costo: 01.800 623.8000
	Universidad Kino	Calz. Pedro Villegas Ramirez Final Oriente S/N Casa Blanca 83000 Hermosillo, Sonora	promocio@unikino.mx www.unikino.mx	Tel: (662) 259.0808, 259.0809
Tabasco	Instituto Tecnológico Superior de Comalcalco*	Km. 2 carretera Vecinal Comalcalco-Paraiso Ranchería Occidente 3a. sección 86650 Comalcalco, Tabasco	direcciongeneral@mail.itsc.edu.mx www.itsc.edu.mx tec@mail.itsc.edu.mx	Tel: (933) 334.0124 Fax: (933) 334.0124
	Instituto Tecnológico Superior de Macuspana*	http://www.itsmacuspana.edu.mx/mecatronica.aspx	http://www.itsmacuspana.edu.mx/mecatronica.aspx	http://www.itsmacuspana.edu.mx/mecatronica.aspx
Tamaulipas	Instituto Tecnológico de Matamoros*	Km. 6.5 carretera Lauro Villar 87490 Matamoros, Tamaulipas	comenta@itmatamoros.edu.mx www.itmatamoros.edu.mx Director direccion@itmatamoros.edu.mx	Tel: (868) 814.0667, 814.0952, 814.0953 Fax: (868) 814.0667
	Instituto Tecnológico de Reynosa*	Av. Tecnológico S/N Lomas del Real de Jarachina Sur 88730 Reynosa, Tamaulipas	Av. Tecnológico S/N itr@tecreynosa.edu.mx www.tecreynosa.edu.mx	Tel: (899) 929.0019, 929.0020
	Universidad Politécnica de Ciudad Victoria	Calzada Gral. Luis Caballero 1200 Col. Del Maestro 87070 Ciudad Victoria, Tamaulipas	upv@tamaulipas.gob.mx www.upvictoria.edu.mx	Tel. (834) 1276454,55
	Universidad Tamaulipeca	Mariano Escobedo No. 390 Zona Centro 00000 Reynosa,	www.universidadtamaulipeca.com	Tel: (899) 922.2203, 930.0606
	Universidad Tecnológica de Tamaulipas Norte*	Av. Universidad Tecnológica No. 1555 Col. La Escondida 88770 Reynosa, Tamaulipas	rector@uttn.edu.mx	Tel. (01 899) 920 16 66
Tlaxcala	Universidad Politécnica de Tlaxcala	Calle 21, No. 611 Colonia Xicoténcatl 90070 Tlaxcala, Tlaxcala	uptlaxcala@prodigy.net.mx http://www.uptlax.edu.mx	Tel. (246) 466 7126,27 Fax. (246) 466 7126,27
Veracruz	ITESM-cordoba			
	Instituto Tecnológico Superior de Poza Rica*			
	Instituto Tecnológico Superior de Coatzacoalcos	Carretera Antigua Minatitlan Coatzacoalcos Km 16.5, C.P. 96400 - Tel: 01 (921) 2118158 - Coatzacoalcos, Veracruz, México.		Tel: 01 (921) 2118158 -
	Universidad del Valle de Orizaba	http://www.univo.edu.mx/	http://www.univo.edu.mx/	http://www.univo.edu.mx/



Yucatán	Escuela Modelo			
	Universidad Autónoma de Yucatán*			
	Universidad del Mayab	Mónica Febles Álvarez Icaza Coordinadora de Investigación y Publicaciones Desarrollo Académico e Investigación	mafebles@unimayab.edu.mx	Tel. 942-48-00 Ext. 502
Zacatecas	Universidad Tecnológica del Estado de Zacatecas	Carretera Guadalupe, Ciudad Cuauhtémoc Comunidad Cieneguitas 98600 Guadalupe, Zacatecas México		Tel. (01 492) 9276181 al 84 Fax. (01 492) 9276181 al 84 Ext. 102
	Universidad Politécnica de Zacatecas	Plan de Pardillo S/N Parque Industrial 99059 Fresnillo, Zacatecas México Ing. Jose Manuel Robles Solis roblesm@upz.edu.mx	upzac@hotmail.com http://www.upz.edu.mx roblesm@upz.edu.mx	Tel. (493) 935 7102, 03, 04, 06 Fax. (493) 935 7102, 03, 04, 06 ext. 104



V. Conclusiones

a. Resultados obtenidos para cada uno de los temas abordados.

Mecatrónica en el contexto Internacional

La mecatrónica se ha involucrado en la industria y en la educación desde su definición en 1969, y es ahora reconocida alrededor del mundo.

La mecatrónica permaneció durante diez años como una tecnología confinada al nivel de programas de investigación y desarrollo de las industrias de aeroespacial espacial y 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. Durante los últimos cinco años es cuando la mecatrónica ha hecho su entrada real en la industria y los servicios.

En los 70's la mecatrónica estaba relacionada principalmente con la servo tecnología usada en productos como puertas automáticas, maquinas 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 microescala - que diversificaron el uso de sistemas mecatrónicos.

El desarrollo de la mecatrónica es una necesidad para las empresas manufactureras que reciben presiones tanto de su competencia como de sus clientes para incluir elementos de electrónica y software en sus productos. Ellas deben encontrar los medios para aplicar los cambios técnicos y de proceso haciendo labor de equipo entre sus ingenieros mecánicos, eléctricos y de software.

Se sabe que a nivel internacional, de las empresas de tecnología media, el 54% utiliza la mecatrónica en todos ó en la mayoría de sus productos, el 38% en algunos y sólo el 8% no integra la mecatrónica en sus productos.

Los países líderes a nivel internacional en la mecatrónica son Estados Unidos, Japón y Alemania. La presencia de Estados Unidos en este liderazgo es apoyada principalmente por su amplia capacidad de comercialización, importa tecnologías avanzadas, les agrega valor y las comercializa con el mundo, el liderazgo de Japón obedece a su papel dentro de la investigación, desarrollo y comercialización de la robótica desde los 80's.



Mecatrónica en el contexto Nacional

La gran oferta académica de mecatrónica de varios niveles en México (cuantitativamente hablando), el bajo nivel de la mayoría de estos programas (cualitativamente hablando), la baja competitividad de México, el cortoplacismo de la clase empresarial mexicana, la competencia globalizada y la carencia de políticas públicas efectivas y a mediano plazo, aunado a la falta de una estricta supervisión de la oferta académica y promoción de la ingeniería mecatrónica, hacen urgente tomar medidas de carácter global y a largo plazo para lograr los beneficios de la Mecatrónica que se han cosechado en otros países. Es necesario establecer políticas públicas y claros apoyos para capitalizar la cantidad de ingenieros mecatrónicos ya disponibles en el mercado laboral y que hoy día están ejerciendo otra cosa. Como una sugerencia preliminar se sugiere considerar la creación de un Centro o Instituto Nacional de Mecatrónica que mejore las habilidades y competencias de los ingenieros ya egresados - pero que presentan evidentes deficiencias-, que articule el sector productivo y el ámbito académico, y por otro lado supervise y norme la calidad de los programas académicos y finalmente certifique las competencias del Ingeniero en Mecatrónica.

Seguimiento de egresados

- Se presume conservadoramente que cada año egresan de las más de 150 escuelas que imparten conocimientos de mecatrónica, más de 2,500 estudiantes graduados (cifra que fácilmente puede ser mayor, debido a que solo estamos considerando menos de 9 egresados por semestre por institución).
- En México existe un enorme capital intelectual desaprovechado (los cientos de egresados de las carreras de mecatrónica, desde 1991 en la Anahuac Sur y posteriormente con el crecimiento exponencial originado con el establecimiento de esta carrera en UPIITA-IPN), en el cual se ha invertido una enorme cantidad de recursos públicos en las más de 150 instituciones académicas. La gran disparidad académica que existe entre por ejemplo un egresado de ingeniería entre la UPIITA-IPN y la Universidad de la República Mexicana es enorme o la gran asimetría que existe entre un egresado de La Salle, con 8 materias de humanidades y uno de los Institutos Tecnológicos. Ambos programas tienen un número de créditos similar, por lo que un egresado del Tecnológico llevó varias materias técnicas que no llevó el egresado de La Salle.
- Podemos afirmar, aun sin tener el estudio formal, que la gran mayoría de los egresados de las carreras de mecatrónica no se dedica a la mecatrónica en su campo laboral. Esta conclusión no es de extrañar, ya que es la situación que prevalece generalmente en todos los egresados de carreras emergentes (como biotecnología, telemática, biónica, nanotecnología) en países en donde ni el sector público ni el privado tienen un sector maduro en



esas áreas como para captar tantos egresados, en particular en México, en donde mecatrónica es una área que virtualmente no existe en el sector productivo.

- Una búsqueda en el sitio web de Conacyt entrega solamente 5 sitios internos con el término mecatrónico, 4 de ellos relativos a demandas de convocatorias y 1 mas definiendo un perfil de Promotores IDITEC. Siendo Conacyt el organismo que concentra los programas de ciencia y tecnología, es sin duda representativa la falta de interés en promocionar una disciplina que tiene evidentemente tanto impacto en procesos productivos.

Interés en la mecatrónica

Academia: Existe una tendencia de crecimiento exponencial en los últimos 10 años. El número de estudiantes interesados en estudiar mecatrónica va en aumento logarítmico, por ejemplo en todo el sistema del Instituto Politécnico Nacional, Ingeniería Mecatrónica es la carrera de más alta demanda en 2006 y 2007 (un hecho sin precedente dado que mecatrónica no es una carrera demandada por ningún sector industrial, ni tiene una clara estrategia de promoción por parte de los sectores educativo y productivo, ni en algún órgano de gobierno). Para re-encausar esta gran fuerza laboral y lograr un impacto inmediato, se requiere de una cultura empresarial moderna, con apoyo del estado para plantear la modernización de los procesos. Como parte sustancial de esta estrategia debería considerarse la generación de un sistema nacional de acreditación, lo cual podría no solo emitir ciertas normas y regulaciones para habilitar a los ingenieros en mecatrónica, sino también cursos complementarios para homogenizar, basados en competencias laborales, el nivel de los egresados.

Plan Estratégico. Homogenizar las competencias laborales y el nivel de los egresados permitiría estandarizar y potenciar la actual plataforma de egresados, lo cual podría contribuir a lanzar a mediano plazo una estrategia sólida de proyectos de desarrollo tecnológico y modernización mecatrónica de empresas de los distintos sectores industriales.

Conacyt: El programa denominado Programa Especial de Ciencia y Tecnología 2001-2006 no contempla la mecatrónica como un sector clave en el desarrollo de algún sector productivo, y no se hace ninguna mención, ni un solo comentario siquiera, acerca de la mecatrónica.

Secretaria de Economía: En el estado de Querétaro, recientemente la SE solicito un estudio prospectivo de la mecatrónica, que derivo en un conjunto de recomendaciones para apoyar el sector automotriz. Igualmente la SE a nivel federal tiene acciones para realizar un levantamiento nacional de la realidad de la mecatronica en todo el territorio.

Pymes: Las Pymes generalmente sostienen que la innovación tecnológica ocurre por generación espontánea, cuando en realidad exige un esfuerzo



sistemático, permanente y generalizado de desarrollo o aplicación de nuevas tecnologías, cambios en la organización del trabajo y aumento del capital humano que conduzca a la mejora de procesos, productos y servicios.

Investigación de Campo

Para el presente estudio se llevó a cabo una investigación de campo, durante la cual se visitaron un total de 65 empresas de 6 sectores de la industria en 7 ciudades del país: Cd. Juárez, Tijuana, Guadalajara, Monterrey, San Luis Potosí, Distrito Federal y Querétaro. Los sectores que estuvieron dentro del alcance de la investigación fueron: aeroespacial, automatización y control, electrónico, eléctrico, médico y automotriz.

De la investigación se derivaron las siguientes conclusiones:

Dentro del sector electrónico, se detectó que las empresas se encuentran muy estandarizadas, utilizan procesos de manufactura, maquinaria y equipo mecatrónico muy similares. El origen de su tecnología proviene principalmente de Estados Unidos, seguido de Alemania y Japón. En este sector predominan los sistemas de control avanzado y es uno de los pocos sectores donde hay tecnologías locales.

El sector de manufacturas eléctricas se caracterizó por un común denominador en las empresas visitadas: la mayoría presentan un alto grado de automatización y el origen del equipo atiende a la nacionalidad de la compañía, por ejemplo una empresa de origen Coreano tiene como política utilizar únicamente tecnología de Corea, otro factor coincidente es la necesidad de reparación y mantenimiento de las líneas de ensamble. Las manufacturas eléctricas conforman una de las cadenas productivas más complejas de la industria nacional.

El sector aeroespacial en México es el de mas reciente aparición en el mapa y sorpresivamente se encontró que no existen sistemas totalmente automáticos en el proceso de transformación principal, aunque si cuentan con tecnología de punta en máquinas herramientas de apoyo como lo son maquinados de alta precisión. La falta de elementos mecatrónicos obedece a que en el país se hacen principalmente procesos de ensamblaje que requieren de mano de obra.

Dentro del sector automotriz encontramos que es el sector con mayor presencia de tecnologías avanzadas, donde se llevan a cabo maquinados especializados, así como muchos procesos de conformado de materiales. Los lugares que cuentan con ensamblaje tienen mucha intervención humana y empleo de herramientas eléctricas. Existe también una gran variabilidad en la capacidad de las empresas para poder implementar sus propios centros de desarrollo, tanto para los productos como para los procesos, debido a la capacidad de inversión de cada uno.

Para el sector automatización y control tenemos que desafortunadamente son pocas las empresas que a nivel nacional producen o fabrican elementos de



automatización y control, y las que se localizaron son de capital extranjero y con presencia en prácticamente todas las ciudades visitadas.

Como consecuencia se han convertido en empresas que integran los elementos necesarios para dar respuestas integrales a sus clientes, que incluyen no solo las partes, sino los diseños, la capacitación, etc. para convertirse así en los referentes obligados cuando las empresas requieren de proveedores locales en este tema.

El sector de la industria médica se caracteriza por su capacidad para la manufactura de equipo médico dentro de ambientes controlados para evitar la contaminación de sus productos durante el periodo de fabricación y empaque.

Este sector utiliza en la mayoría de los casos, mano de obra intensiva y estrictos controles de calidad, su capacidad de producción es baja pero el valor agregado compensa la falta de volumen. Posee un gran potencial para la automatización de sus líneas de producción a través de robots transportadores de productos, ensambladores y soldadores de productos plásticos y metálicos pequeños, así como en sistemas alternos de inspección automatizada y sistemas de empaque para evitar el contacto con elementos contaminantes.

Las áreas de oportunidad con potencial para la creación de empresas en México son las siguientes:

- Desarrollo de software especializado a precios más competitivos
- Empresas integradoras. (Se debe entender como concepto de empresa integradora el que atiende al tema mecatrónica, es decir, aquella empresa que adquiere componentes que ensamblados o sub ensamblados se convierten en elementos mecatrónicos que incluyen normalmente elementos mecánicos, electrónicos y de automatización y control)
- 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 eléctrico principalmente

b. Estrategias propuestas para detonar el desarrollo de la mecatrónica en el país.

En este apartado se presentan las estrategias que se fueron planteando durante el desarrollo del estudio. Todas ellas son importantes e impactarán favorablemente en el desarrollo de la mecatrónica en el país.

- Promocionar mediante campañas publicitarias dirigidas, las ventajas que a nivel mundial ha representado el uso de la mecatrónica para las pequeñas, medianas y grandes empresas.
- Organizar y difundir en conjunto con instituciones educativas, eventos nacionales que desarrollen la creatividad de los estudiantes de ingeniería para el diseño, elaboración y aplicación de sistemas mecatrónicos.
- Establecer un programa de estímulos fiscales y financiamiento para la adquisición de maquinaria y equipo a tasas preferenciales que promueva la adopción de nuevas tecnologías por parte de la pequeña y mediana industria.
- Diseñar e implementar esquemas y mecanismos efectivos de vinculación escuela – empresa y centro de investigación – empresa mediante los cuales todas las partes obtengan beneficios para procurar esta vinculación.
- Formular el contenido de la currícula para nivel técnico, licenciatura y postgrado en mecatrónica de acuerdo con las necesidades de la industria y los segmentos a desarrollar por interés nacional.
- Establecer un arbitraje con facultades para dar seguimiento a los acuerdos que establezcan las partes involucradas en el tema de propiedad intelectual y transferencia de tecnología.
- Fortalecer la infraestructura nacional para la investigación, desarrollo e innovación tomando en cuenta las necesidades tanto de la industria como de las instituciones de investigación y desarrollo.
- Otorgar apoyos gubernamentales a las instituciones nacionales de investigación para la creación de programas interdisciplinarios de ingeniería con mentalidad empresarial relacionados con el campo de la mecatrónica.
- Fomentar y crear mecanismos de apoyo para la creación de incubadoras y parques científico – tecnológicos de acuerdo a las vocaciones de las distintas regiones en el área de mecatrónica.
- Incrementar los recursos económicos dedicados a la ciencia y la tecnología en el presupuesto federal buscando igualar las proporciones respecto al PIB que tienen países con niveles similares de desarrollo (alrededor del 1%).



- Aunque actualmente la legislación vigente en materia de Ciencia y Tecnología contempla apoyos para las empresas que inviertan en Investigación y Desarrollo a través de estímulos fiscales (créditos) aplicables al Impuesto Sobre la Renta, no hay nada específico para promover la inversión en herramientas mecatrónicas o equivalentes como automatización y control, ya que esto no es considerado como Innovación. Por lo anterior, se debería valorar el incluir en un programa similar la renovación de equipo que contenga elementos mecatrónicos que garanticen la actualización de los mismos.
- A través de los mecanismos de apoyo a la investigación vigentes, privilegiar proyectos relacionados con la mecatrónica que cuenten con el apoyo y participación de usuarios potenciales para su implementación.
- Modificar la legislación vigente en la Ley Federal de Responsabilidades de los Servidores Públicos y la normatividad interna de las universidades y centros de investigación de tal manera que se permita la participación de los desarrolladores de tecnología en la aplicación de los resultados obtenidos.

c. Conclusión general del análisis realizado

- a. La capacidad educativa para preparar profesionales en mecatrónica en nuestro país ha visto un incremento exponencial en los últimos años, sin embargo la demanda de profesionistas de parte de las empresas no ha captado más allá del 1% de estos egresados.
- b. 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.
- c. Existe un problema de desconocimiento en la planta productiva nacional con respecto al concepto de mecatrónica, ya que se ha detectado que aunque se utilicen elementos mecatrónicos en los procesos productivos o inclusive que utilicen elementos en productos terminados no los reconocen como tal.
- d. En el tema de las capacidades tecnológicas se encontraron varias insertas en instituciones educativas, sin embargo no hay un claro mecanismo que motive a la vinculación academia - empresa fuera de algunas excepciones.
- e. Los organismos especializados en mecatrónica que pudieran servir como articuladores entre los programas gubernamentales de apoyo, las instituciones y centros educativos y las empresas, son muy pocos y no están articulados entre ellos. Las tareas que realizan encaminan sus esfuerzos a la difusión principalmente entre el sector estudiantil.
- f. Prácticamente todos los expertos entrevistados coinciden en que la mayoría de la maquinaria y equipo mecatrónico con que cuenta la planta productiva de nuestro país proviene del extranjero y no se conoce un programa nacional estructurado que permita adoptar el conocimiento aplicado al menos para ofertar el mantenimiento preventivo o correctivo de la misma.
- g. El sector automotriz es el que presenta el mayor número de menciones como agrupamiento con características de madurez y eslabonamiento en cuanto al uso de elementos mecatrónicos y se prevé que lo mismo suceda en un futuro con el sector aeronáutico.
- h. El impulso a la mecatrónica en México mediante planes y programas de mediano plazo, pudiera significar para el país la oportunidad para mejorar su posición competitiva y la disminución de la brecha tecnológica con respecto a otros países, así como la mejora en las condiciones de la planta productiva.



ANEXOS



Principales Instituciones que ofrecen Ingeniería en Mecatrónica⁴⁶

Programa Mecatrónica	Universidad	País
Mechatronics Engineering	Institute of Technology Sligo	Ireland, EU.
MS/BS in Engineering Mechatronics	University of Southern Denmark	Denmark, EU.
UNCA-NCSU Mechatronics Program	University of Southern Denmark	Denmark, EU.
Engineers in mechatronics	Université de Savoie	France, EU
Engineers in Mechatronics	UVHC – ENSIAME	France, EU
Studienrichtung Mechatronik	Johannes Kepler University Linz	Austria, EU
Mechatronics	University of Applied Sciences Regensburg	Germany, EU
Mechatronics	Mechat. an der Fachhochschule Regensburg	Bayern, Germany, EU
Mechatronics	Mechat. an der Fachhochschule Frankfurt	Frankfurt, Germany, EU
Mechanical Engineering	DLR Institute of Robotics and Mechatronics	Germany, EU
Mechatronics	K.U.Leuven Mechatronics and Robotics	Belgium, EU
Mechatronics Research	Helsinki University of Technology	Finland, EU
Mechatronics Research Group	De Montfort University	UK, EU
Mechatronics Research Group	Loughborough University	UK, EU
Mechatronics and Robotic Systems	University of Leeds	UK, EU
Mechatronics and Robotics	Liverpool University	UK, EU
Integrated Mec. & Elec, Engineering	University of Bath	UK, EU
Faculty of Mechatronics	Warsaw University of Technology	Poland, EU
Mechatronics Engineering	Évora University	Portugal, EU
CMMFM	The Technical University of Cluj-Napoca	Romania, EU
Mechatronics Engineering	Institute of Technology Sligo	Ireland, EU
Mechatronics Department	"Politehnica" University of Timisoara	Romania, EU
Mechatronics Engineering	California State University, Chico	Chico, CA, USA
UNCA-NCSU Mechatronics Program	University of North Carolina	Asheville, USA
Mechatronics Wiki	Northwestern University	Chicago, IL, USA
Mechatronics	Rensselaer Polytechnic Institute	Troy, New York, USA
Mechatronics Undergraduate degree	Southern Polytechnic State University	Marietta, GA, USA
Master of Science in Mechatronics	New Mexico Tech	Socorro, N. Mexico, USA
Mechatronic Systems Engineering	Lawrence Technological University	Michigan, USA
Mechatronic Systems Engineering	University of Denver	Denver, Colorado, USA
Mechatronics in Mechanical Engin.	Ecole Polytechnique de Montreal	Montreal, QC, Canada
Mechatronics Engineering	University of British Columbia	B. Columbia, Canada.
Mechatronics Engineering	University of Waterloo	Ontario, Canada.
Mechatronic Engineering	McMaster University	Hamilton, ON Canada
Autom. Engineering Technology	Southern Alberta Institute of Technology	Alberta, Canada
Ingeniería Mecatrónica	Universidad Autónoma de Ciudad Juárez	Chihuahua, México
Mechatronics Engineering	Instituto Tecnológico Superior de Poza Rica	Poza Rica, Mexico
Ingeniería Mecatrónica	UNITEC Universidad Tecnológica de Mexico	Edo. de Mexico, Mexico
Mechatronics Research	ITESM	Monterrey, Mexico
Ingeniero en Mecatronica	Universidad La Salle Noroeste	Sonora, Mexico
Ingeniero en Mecatronica	Universidad Politecnica de Chiapas	T. Gtz. Chiapas, Mexico
Bachelor of Mechatronic Eng.	University of Technology, Sydney	Sydney, Australia
Bachelor of Engineering-Mechatronic	University of Sydney	Sydney, Australia

⁴⁶ Wikipedia; Institutions offering Mechatronics Engineering



Mechatronic Engineering	Curtin University of Technology	Perth, Australia
Mechatronics Engineering	Edith Cowan University	Australia
Mechatronics Engineering	University of Queensland	Australia
Mechatronics Engineering	University of Melbourne	Australia
Mechatronics Engineering	University of Wollongong	Australia
Mechatronics Engineering	University of Canterbury	New Zealand
Mechatronics Engineering	Massey University	New Zealand
Mechatronics Engineering	University of Auckland	New Zealand.
Mechatronics Engineering	Oita University	Oita, Japan
Mechatronics Engineering	University of Johannesburg	Johannesburg, S. Africa
Mechatronics Engineering	University of Stellenbosch	Western Cape, S. Africa
Mechatronic Engineering	Nelson Mandela Metropolitan University	Eastern Cape, S. Africa
Mechatronic Engineering	Tswane University of Technology	Western Cape, S. Africa
Mechatronics Engineering	University of Stellenbosch	South Africa.
Mechatronics Engineering	University of Cape Town	Cape Town, S. Africa
Mechatronics Engineering	University of Stellenbosch	Western Cape, S. Africa.
Mechatronics (Bach. of Engineering)	Hemchandracharya North Gujarat University	Patan, Gujarat, India
Mechatronics Engineering	Kongu Engineering Collage	Erode, Tamilnadu, India.
Mechatronics Engineering	Maharaja Engineering College	Tamilnadu, India
Mechatronics Engineering (BE)	Thiagarajar College of Engineering	Madurai, India
Mechatronics Engineering	Manipal Institute of Technology	Manipal, India
Mechatronics Engineering	SRM Institute of Technology	Chennai, India
Mechatronics Engineering	Dokuz Eylül University	Izmir, Turkey
Mechatronics Engineering	Sabancı University	Istanbul, Turkey
Mechatronics Engineering	Swiss German University	Tangerang, Indonesia.
Mechatronics Engineering	Szent István University Gödöllő	Gödöllő, Hungary.
Mechatronics, O&I Technology	Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem	Budapest, Hungary.
Mechatronics Engineering	Shandong University of Sci. & Technology	Qingdao campus, China.
Mechatronics	Asian Institute of Technology	Pathumtani, Thailand
Mechatronics Laboratory	Engineering School - University of São Paulo	São Carlos, Brazil
Mechatronics Engineering	Polytech. School - University of Pernambuco	Recife, Brazil
Mechatronics Engineering	Militar University "Nueva Granada"	Bogotá, Colombia
Ingeniería Mecatrónica	Universidad De San Buenaventura	Bogotá, Colombia
Ingeniería Mecatrónica	Universidad Autónoma de Occidente	Cali, Colombia
Ingeniería Mecatrónica	Universidad Nacional de Colombia	Bogotá, Colombia
BS in Automation & Mechatronics	Mindanao State University	Iligan City, Philippines
Bachelor of Sc. in Mechatronics Eng.	Bulacan State University	Malolos, Philippines
Mechatronics Engineering	International Islamic University Malaysia	Malaysia
Mechatronic Engineering	University of Nottingham Malaysia Campus	Shah Alam, Malaysia
Mechatronics and Robotics	University of Zagreb	Zagreb, Croatia
Mechatronics Engineering	National University of Sciences & Technology	Rawalpindi, Pakistan
Mechatronics Engineering	Al-Balqa Applied University	Amman, Jordan
Mechatronics Engineering	University of Jordan	Amman, Jordan
Mechatronics Engineering	University of Sager	Djibouti
Mechatronics Engineering	Instituto Tecnológico de Santo Domingo	República Dominicana
Faculty of Engineering	German University Cairo	Cairo, Egypt
Mechatronics	Faculty of Engineering, Ain Shams University	Cairo, Egypt
Master in Systems and Mechatronics	Chalmers University of Technology	Gothenburg, Sweden



Convocatoria CYTED

Anual: Se abre una convocatoria anual para la presentación de propuestas a las diferentes áreas temáticas del Programa.

1. A través de la Convocatoria anual de Acciones CYTED:

Cada año el Programa CYTED lleva a cabo una convocatoria pública para la presentación de propuestas de financiación de actividades de coordinación de la investigación científica y técnica en varios temas prioritarios. Las reglas de participación se publican en la página Web del Programa CYTED, al menos con una semana de antelación a la apertura de la misma y generalmente a lo largo del mes de Marzo, tras la aprobación del texto y de las líneas prioritarias de la convocatoria en el Consejo Directivo del Programa de ese mismo mes. La presentación de propuestas permanece abierta durante un periodo aproximado de 2 meses desde el momento de su apertura. El proceso de evaluación se inicia una vez subsanados los posibles errores de presentación de propuestas mediante el envío a dos expertos externos de acuerdo al sistema de “evaluación por pares”.

Además del texto de la convocatoria que recoge las reglas y formas de participación, se publican cada año todos los documentos relativos a la Convocatoria correspondiente, así como toda la información actualizada sobre la misma e instrumento disponibles.

Existen tres tipos de instrumentos de participación, en las Convocatorias de Acciones CYTED:

- Redes Temáticas
- Acciones de Coordinación
- Proyectos de Investigación Consorciados

2. A través de la Convocatoria permanente de Proyectos de Innovación IBEROEKA:

El Programa CYTED mantiene abierta, de forma permanente, una convocatoria de solicitudes para la certificación de proyectos de innovación, basados en la cooperación científica y tecnológica de empresas e instituciones iberoamericanas. Proyectos cuyo objetivo sea la obtención de nuevos productos, procesos o servicios, que contribuyan a mejorar los sectores productivos y la competitividad de la región.

La certificación de un proyecto como Proyecto de Innovación IBEROEKA por parte del programa CYTED supone, además de un sello contrastado de calidad, la posibilidad de acceso prioritario a los mecanismos de financiación para la innovación en cada país participante.

El primer paso para acceder a la certificación de un proyecto de innovación se inicia con el contacto con la Red de Organismos Gestores IBEROEKA a través



de la página Web del Programa CYTED, y más en concreto con el coordinador o coordinadores designados por cada país. Desde dichos organismos, y dependiendo de las necesidades específicas de cada iniciativa, se informa y orienta sobre cómo enfocar el proceso con la máxima garantía de éxito.

- **En libre competencia:** Cualquier persona física o entidad perteneciente a alguno de los países de la Región Iberoamericana puede presentar una solicitud.
- **On-line:** Presentación de solicitudes a través de la gestión integral del proceso vía Intranet de CYTED.
- **En Redes Temáticas y Acciones de Coordinación:**
 - ➔ El coordinador será una persona física perteneciente a:
 - Centros públicos y/o privados de I+D
 - Empresas públicas y/o privadas: Con financiación del Programa.con sede en alguno de los 21 países miembros del Programa.
- **En Proyectos de Investigación Consorciados:**
 - ➔ El coordinador será una entidad jurídica, pública o privada, sin ánimo de lucro tipo:
 - Centros públicos y/o privados de I+D
 - Empresas públicas y/o privadas: Sin financiación del Programa.

Presentación de solicitudes

- **Documentos oficiales:**
 - ➔ Texto de la Convocatoria.
 - Anexo 1: líneas de investigación abiertas.
 - ➔ Guía del Solicitante.
 - Anexo 1: formularios de solicitud.
 - Anexo 2: formularios de evaluación.
- **Ayuda a la presentación de propuestas:**
 - ➔ Vía telefónica y por correo electrónico.
 - ➔ Guía de ayuda al solicitante.
- **Registro de propuestas de manera on-line.**
- **Visualización:**
 - ➔ Visualización on-line del estado de la propuesta durante el proceso de evaluación.
- **Gastos financiables (RT y AC):**
 - ➔ Gastos de Coordinación: 2.700 €/año máximo.
 - ➔ Movilidad del Coordinador: Pasajes y Viáticos.
 - ➔ Reuniones de Coordinación: Pasajes y Viáticos, Alquileres, Documentación.
 - ➔ Movilidad de los grupos participantes: Pasajes y Viáticos.
 - ➔ Publicaciones: Resultantes de las actividades de cooperación en la Acción.



- ➔ Formación: Seminarios, talleres y jornadas organizadas por la Acción.
- **Gastos financiables (PIC):**
 - ➔ Modelo de costes adicionales, incluyendo los costes indirectos admisibles a tanto alzado.
 - ➔ Costes elegibles: Costes directos financiados al 100% y Costes indirectos hasta un máximo del 5% de la subvención total del proyecto.

Información de contacto:

Secretaría General

C/ Amanuel, 4
28015 Madrid
ESPAÑA

Tlf: +34 91 531 63 87
Fax: +34 91 522 78 45
Email: sgral@cyted.org

Secretaría Adjunta

Praia do Flamengo 66, sala 1209
Rio de Janeiro - RJ - 22210-030
BRASIL

Tlf: (55-21) 2005.6369
Fax: (55-21) 2005.6369
Mov: (55-21) 8131.6030

Secretaría Adjunta

San Isidro Coronado
San José (Costa Rica)

Tlf 1: (506) 844 45 95
Tlf 2: +34 606 85 16 78
Fax: (506) 292 81 67