DESARROLLO INDUSTRIAL 2050

HACIA UNA **INDUSTRIA** DEL **FUTURO**

COORDINADOR:
ARTURO OROPEZA GARCÍA

IDIC
Instituto para el Desarrollo Industrial y el Crecimiento Económico A.C.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES JURÍDICAS
unam

Desarrollo industrial 2050

Hacia una industria del futuro

0. inicio desarrollo.indd 3 12/17/19 16:33

Desarrollo industrial 2050

Hacia una industria del futuro

Arturo Oropeza García
Coordinador

Instituto de Investigaciones Jurídicas
UNAM

IDIC
Instituto para el Desarrollo Industrial y el Crecimiento Económico A.C.

Universidad Nacional Autónoma de México

0. inicio desarrollo.indd 5 12/17/19 16:33

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES JURÍDICAS

DR. PEDRO SALAZAR UGARTE
Director

DRA. ISSA LUNA PLA
Secretaria Académica

LIC. RAÚL MÁRQUEZ ROMERO
Secretario Técnico

Desarrollo Industrial 2050. Hacia una industria del futuro
Arturo Oropeza García, Coordinador
Primera edición, 2019

© 2019, Instituto para el Desarrollo Industrial y el Crecimiento Económico , A.C.

© **2019,Universidad Nacional Autónoma de México/**
Instituto de Investigaciones Jurídicas
Circuito Maestro Mario de la Cueva s/n,
Ciudad Universitaria, México, D.F.
Delegación Coyoacán, C.P.04510

ISBN: 978-607-97629-5-7

Las opiniones expresadas en este libro son responsabilidad exclusiva de los autores y no reflejan necesariamente la posición de las instituciones a las que pertenecen.

Queda rigurosamente prohibida, sin autorización escrita del titular del derecho, la reproducción o distribución total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, bajo las sanciones establecidas por la ley.

Impreso y hecho en México / *Printed and made in Mexico*

INSTITUTO PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL
Y EL CRECIMIENTO ECONOMICO

Ing. RAÚL GUTIÉRREZ MUGUERZA
Presidente

Dr. ARTURO OROPEZA GARCÍA
vicepresidente

Lic. JUAN ANTONIO REBOULEN
Secretario Tesorero

Dr. JOSE LUIS DE LA CRUZ GALLEGOS
Director General

Lic. JESUS ALBERTO CANO VELEZ
Vocal

Mtro. MAURICIO DE MARÍA Y CAMPOS
Vocal

Ing. MIGUEL LEÓN GARZA
Vocal

Ing. MAURICIO MILLÁN
Vocal

Dra. ALICIA PUYANA
Vocal

Dr. JOSÉ ANTONIO ROMERO
Vocal

Mtro. FRANCISCO SUÁREZ DÁVILA
Vocal

Dr. RENÉ VILLAREAL
Vocal

2019, Instituto para el Desarrollo Industrial y el Crecimiento Económico, A.C.

0. inicio desarrollo.indd 8 12/17/19 16:33

Índice

17 **Introducción**
ARTURO OROPEZA GARCÍA
Investigador del Instituto de Investigaciones Jurídicas, UNAM y Vicepresidente del Instituto para el Desarrollo Industrial y el Crecimiento Económico (IDIC)

Capítulo I
Los retos de la Industria del futuro. La importancia de contar con una política industrial integral de largo plazo

25 Revolución industrial y desarrollo. Antecedentes y vislumbres de la Industria 4.0
ARTURO OROPEZA GARCÍA
Investigador del Instituto de Investigaciones Jurídicas, (UNAM) y Vicepresidente del Instituto para el Desarrollo Industrial y el Crecimiento Económico (IDIC)

53 La responsabilidad de contar con una política industrial integral
JOSÉ LUIS DE LA CRUZ GALLEGOS
Director General del Instituto para el Desarrollo Industrial y el Crecimiento Económico (IDIC)

73 La industria automotriz en México: turbulencia tecno-económica y geografía en vilo
JORDY MICHELI
Profesor investigador del Departamento de Economía en la UAM Azcapotzalco

0. inicio desarrollo.indd 9 12/17/19 16:33

Capítulo II
La industria del futuro. La agenda pendiente

93 La erradicación de la pobreza en México. Una propuesta de financiamiento para vincular a la ciencia, política, industria y sociedad en torno a un problema social
VÍCTOR DEL RÍO
Coordinador del Comité Internacional de Estrategia y Ciencia – iniciativa Sincrotrón mexicano en Hidalgo

121 Estrategias para impulsar el desarrollo tecnológico: una asignatura pendiente para México
BRENDA VALDERRAMA BLANCO
Instituto de Biotecnología. Universidad Nacional Autónoma de México

139 Enseñanza de la ciencia en la educación básica: una historia de progresos, retrocesos y abandono
FERNANDO FLORES CAMACHO
Grupo de Cognición y Didáctica de las Ciencias. Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, UNAM

155 Ciencia y desarrollo. La divulgación de la ciencia, ¿trabajo incomprendido?
PATRICIA MAGAÑA RUEDA
Maestra en Ciencias Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México

Capítulo III
La Industria 4.0 y tecnología 5G. Los nuevos caminos del desarrollo 2050

169 El desarrollo de la Industrias 4.0 y el futuro de México
ISMAEL LÓPEZ JUÁREZ
LUIS ALBERTO CASTILLO BARRIENTOS
ALAN DE JESÚS MALDONADO RAMÍREZ
Laboratorio de Manufactura Inteligente del CINVESTAV
JOSÉ LUIS NAVARRO GONZÁLEZ
IJ Robotics SA de CV

0. inicio desarrollo.indd 10 12/17/19 16:33

193 Agenda de políticas públicas y convergencia del conocimiento. Diálogo y sinergias entre la comunidad científica y empresarial para la industria 4.0
Héctor Edgar Buenrostro Mercado
Investigador, Centro de Investigación e Innovación en TIC (INFOTEC)

215 5G: cambio de paradigma
Jorge Fernando Negrete P.
Presidente de Digital Policy & Law Group

231 Ciencia de datos y el Internet de las cosas: el futuro posible para México
Rolando Menchaca Méndez
Docente investigador titular y jefe del Laboratorio de Redes y Ciencia de Datos del Centro de Investigación en Computación (CIC), IPN.

Capítulo IV
La robótica y sus retos para México

257 Robótica. Retos y oportunidades para el desarrollo de nuevas tecnologías nacionales
Christian Peñaloza
Director General, Instituto de Investigaciones en Tecnologías Emergentes, Mirai Innovation Japan
David Hernández Carmona
Investigador, Departamento de Inteligencia Artificial, Instituto de Investigaciones en Tecnologías Emergentes Mirai Innovation Japan

277 Robótica e Inteligencia Artificial. Dos áreas de oportunidad para México
Juan Humberto Sossa Azuela
Instituto Politécnico Nacional. Centro de Investigación en Computación

301 Los avances de la robótica médica en Mexico
Juan Manuel Ibarra Zannatha
Laboratorio de Robótica y Visión Artificial. Departamento de Control Automático. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional

Capítulo V
La industria del futuro. Los retos de la sustentabilidad y la economía circular

325 Desafíos del futuro energético para México. Potencial de las energías renovables
Edgar Ocampo Téllez
Investigador Independiente, profesor ITAM/UNAM

357 Importancia de la revaloración de residuos para la generación de energía en México
Salvador Carlos Hernández
Lourdes Díaz Jiménez
Investigadores CINVESTAV del IPN, Unidad Saltillo / Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía (SRNyE) / Laboratorio de Revaloración de Residuos

377 Importancia del aprovechamiento de residuos urbanos industriales y agropecuarios en la agricultura
Fabián Fernández-Luqueño
Programas de Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía, CINVESTAV-Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México

403 Las Energías Renovables en México. Panorama al 2050
Jesús Antonio del Río Portilla
Director del Instituto de Energías Renovables de la UNAM (IER-UNAM)
Nydia Xcaret Valladares Arias
Instituto de Energías Renovables de la UNAM (IER-UNAM)
Karla G. Cedano Villavicencio
Instituto de Energías Renovables de la UNAM (IER-UNAM)

Capítulo VI
Una visión global de la industria del futuro

419 | La industria del futuro*
ALLIANCE INDUSTRIE DU FUTUR

451 | La alianza industria del futuro. Una revolución humana*
ALLIANCE INDUSTRIE DU FUTUR

475 | Fabricación aditiva (3D)*
ALLIANCE INDUSTRIE DU FUTUR

493 | La ciberseguridad y la industria*
ALLIANCE INDUSTRIE DU FUTUR

* La presente investigación auspiciada por el Gobierno francés, se incluye en este libro bajo la autorización del Señor Alfred Rodríguez, Embajador en México de la Alliance Industrie du Futur y Presidente de la comisión de innovación y tecnología para la competitividad, Confederación de Cámaras Industriales de los Estados Unidos Mexicanos (CONCAMIN).

0. inicio desarrollo.indd 13 12/17/19 16:33

0. inicio desarrollo.indd 14 12/17/19 16:33

"Una figura destaca sobre el horizonte de incertidumbres, malestares y miedos que acompaña el comienzo del siglo XXI. Se trata por ahora de una silueta por definir. Una imagen que todavía no refleja con exactitud sus contornos pero que proyecta una inquietud en el ambiente que nos previene frente a ella .Su aparición delata un movimiento de alzada vigorosa, que lo eleva sobre la superficie de los acontecimientos que nos acompañan a lo largo del tránsito del nuevo milenio …"

"…Un mundo de fibra óptica y tecnología 5G,dominado por una visión poshumana,que desbordará y marginará el concepto que hemos tenido del hombre desde la Grecia clásica hasta nuestros días…"

José María Lassalle
Ciberleviatán, 2019

0. inicio desarrollo.indd 15 12/17/19 16:33

Introducción

La industria en México viene de un largo olvido donde su participación en el desarrollo económico del país fue disminuyendo de manera paulatina desde la adopción en 1994 de un modelo de crecimiento donde de manera enfática se renunció a la estrategia de contar con una política industrial.

Por más de tres décadas el impulso y la cultura de la transformación del país ha tenido que abrirse paso en soledad, olvidada por la política pública, frente a la estrategia de Estados Desarrolladores donde nunca se ha dudado que el futuro y el progreso de una nación, desde el siglo XVIII, se finca principalmente en el desenvolvimiento industrial integral de su economía. Por ello desde la década de los setenta estos países con política industrial han redoblado su sinergia con los servicios de la alta tecnología, generando lo que ahora se conoce como la industria 4.0 , así como al conjunto de tecnologías que forman la evolución de las redes móviles conocido como la quinta generación o 5G.

De cara al inicio de la tercera década del siglo XXI, la industria mexicana, a diferencia de las economías que continuaron con el empuje y desarrollo de sus políticas industriales a lo largo del último tercio del siglo XX, tiene ante sí la tarea de resolver dos grandes retos en la materia. El primero, referido a recuperar el tiempo perdido del desarrollo industrial *olvidado*, y el segundo, orientar este esfuerzo hacia una nueva industria del futuro personificado por la industria 4.0 y la 5G.

El reto de ningún modo resultará fácil, ya que habrá que cambiar paradogmas que se niegan a su revisión o desplazamiento; de igual modo que recuperar la cultura de la transformación será una tarea de gran calado, por lo que la solución al subdesarrollo industrial del país será directamente proporcional al tiempo que se tarde en atender el rezago, y a la dimensión de la voluntad política que se invierta para corregirlo.

En el primer caso, el país tendrá que transitar de la renuncia a la política industrial a la declaración pública de compromiso total con el desarrollo transformador

0b. Introduccion.indd 17 12/19/19 13:10

industrial del país, el cual deje claro a todos los actores políticos y económicos involucrados que la estrategia ha cambiado.

La simulación será mala consejera, al igual que acciones parciales de política industrial que tan solo den paliativos a un sector rezagado y falto de apoyos reales de competencia global.

Si no se entiende que los países que llegan con éxito económico a esta primera etapa del siglo, lo hacen de la mano de una política industrial de Estado, moderna y competitiva, sin dudas y restricciones, lo que se intente no será más que un esfuerzo limitado que será absorbido en su mayor parte por Estados Desarrolladores más audaces que han puesto el esfuerzo de su actividad pública, privada y académica, al unísono, hacia el fortalecimiento de sus empresas, productos y servicios.

A lo anterior habría que agregar que ante los avances tecnológicos evidenciados en estas primeras décadas del siglo y publicitados en 2016 en la reunión de Davos, Suiza, como la Cuarta Revolución Industrial, este nuevo esfuerzo y voluntad política no pueden olvidar las megatendencias que ya algunos autores como Schwab o Leonhard, entre otros, anuncian como parte de la Industria 4.0.

Schwab en su propuesta nos habla de tres fuerzas o manifestaciones donde en primer lugar coloca a las que se caracterizan por su naturaleza Física, entre las que aparecen los vehículos autónomos, las impresoras 3D, la robótica avanzada y nuevos materiales. Las segundas o de manifestación Biológica, donde dominan la genética y la biología sistémica; y finalmente las Digitales, en las que de manera preponderante surge el internet de las cosas y el Big Data. Por su parte Leonhard nos invita a no perder de vista lo que el llama los diez ejes disruptivos de la Industria 4.0, a los que clasifica como: digitalización, movilización, visualización, desintermediación, transformación, inteligización, automatización, virtualización, anticipación y robotización.

Estas megatendencias no son únicas y *diariamente* aparecen innovaciones de las innovaciones donde en una carrera sin fin, la alta tecnología de la industria 4.0 rápidamente se apodera del futuro industrial determinando a los ganadores y perdedores de una nueva época donde lo único que concita de manera general es que es tan incierta como poderosa y que no se parece a ninguna de las experiencias del pasado en dimensión, disrupción y velocidad.

Si lo anterior se presenta como un tema complejo, junto con ello surge el escalamiento del cambio digital como una verdadera Revolución sin parangones que invita de manera obligada a acceder a ella de manera inmediata, en una condicionante simbiótica de la Industria 4.0 y la tecnología 5G, en la que la primera sin la segunda no funciona y la segunda sin la primera pierde todo su sentido. Juntas deberán asumirse en todo proyecto de modernización industrial.

0b. Introduccion.indd 18 12/19/19 13:10

La reinstalación de la política industrial es un imperativo nacional que no admite más dilaciones. Su impulso hacia las nuevas tecnologías del siglo XXI es una condición de viabilidad y sustentabilidad.

México en este campo tiene la oportunidad de retomar el camino perdido bajo la idea de que no puede seguir haciendo un mal uso del futuro del bienestar de las nuevas generaciones.

El Instituto para el Instituto para el Desarrollo Industrial y el Crecimiento Económico (IDIC), en colaboración con el Instituto de Investigaciones Jurídicas (IIJ) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), conscientes de la importancia de la transformación tecnológica que se vive en estas primeras décadas del siglo XXI y lo que significarán para el desarrollo económico, político, y social a lo largo de la centuria, estimaron necesario convocar a diversos especialistas en la materia para construir una visión de conjunto respecto a estas nuevas disciplinas multidisciplinarias, que de acuerdo a un sentir general, estarán determinando en buena medida el destino de la humanidad.

El proyecto lo integran un total de 33 investigadores de múltiples instituciones y disciplinas:

Laura Natali **Afanador-Barajas,** Laboratorio de Ecología de Suelos. ABACUS, CINVESTAV.

Héctor Edgar **Buenrostro Mercado**, Centro de Investigación e Innovación en TIC (INFOTEC).

Luis Alberto **Castillo Barrientos**, Laboratorio de Manufactura Inteligente del CINVESTAV.

Salvador **Carlos Hernández**, CINVESTAV del IPN, Unidad Saltillo / Sustentabilidad de de los Recursos Naturales y Energía (SRNyE) / Laboratorio de Revaloración de Residuos

Karla G**. Cedano Villavicencio,** Instituto de Energías Renovables de la UNAM.

Lourdes **Díaz Jiménez**, CINVESTAV del IPN, Unidad Saltillo / Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía (SRNyE) / Laboratorio de Revaloración de Residuos.

Jesús Antonio **del Río Portilla**, Director del Instituto de Energías Renovables de la UNAM.

José Luis **de la Cruz Gallegos**, Director General del Instituto para el Desarrollo Industrial y el Crecimiento Económico, (IDIC).

Víctor **del Río Bello**, Coordinador del Comité Internacional de Estrategia y Ciencia – iniciativa Sincrotrón mexicano en Hidalgo.

Fabián **Fernández Luqueño**, Programas de Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía, CINVESTAV-Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México.

0b. Introduccion.indd 19 12/19/19 13:10

Fernando **Flores Camacho**, Grupo de Cognición y Didáctica de las Ciencias. Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, UNAM.

Selvia **García-Mayagoitia**, Programas de Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía, CINVESTAV-Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México.

David **Hernández Carmona**, Investigador, Departamento de Inteligencia Artificial, Instituto de Investigaciones en Tecnologías Emergentes Mirai Innovation Japan.

Juan Manuel **Ibarra Zannatha,** Laboratorio de Robótica y Visión Artificial. Departamento de Control Automático. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional.

Fernando **López-Valdez**, Grupo de Biotecnología Agrícola, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA), Instituto Politécnico Nacional, Tlaxcala, Mexico.

Ismael **López Juárez**, Laboratorio de Manufactura Inteligente del CINVESTAV.

Alan de Jesús **Maldonado Ramírez**, Laboratorio de Manufactura Inteligente del CINVESTAV.

Patricia **Magaña Rueda,** Facultad de Ciencias, UNAM.

Gabriela **Medina-Pérez**, CINVESTAV-Zacatenco, Ciudad de México

Rolando **Menchaca Méndez**, Jefe del Laboratorio de Redes y Ciencia de Datos del Centro de Investigación en Computación (CIC), IPN.

José Luis **Navarro González**, IJ Robotics.

Jorge Fernando **Negrete,** Presidente de Digital Policy & Law Group.

Arturo **Oropeza García**, Investigador del Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM y Vicepresidente del Instituto para el Desarrollo Industrial y el Crecimiento Económico, (IDIC).

Edgar **Ocampo Téllez**, Profesor ITAM/UNAM.

Citlali **Padilla-Ramírez**, Grupo de Biotecnología Agrícola, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA), Instituto Politécnico Nacional, Tlaxcala, Mexico.

José Agustín **Pacheco-Ortiz**, Grupo de Biotecnología Agrícola, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA), Instituto Politécnico Nacional, Tlaxcala, Mexico.

Christian **Peñaloza**, Director General, Instituto de Investigaciones en Tecnologías Emergentes, Mirai Innovation Japan.

Angélica **Romero-Rodríguez**, Grupo de Biotecnología Agrícola, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA), Instituto Politécnico Nacional, Tlaxcala, Mexico.

Gerardo **Salas-Herrera**, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México.

0b. Introduccion.indd 20 12/19/19 13:10

Juan Humberto **Sossa Azuela**, Instituto Politécnico Nacional. Centro de Investigación en Computación.
Jordy **Micheli Thirión**, Departamento de Economía en la UAM Azcapotzalco.
Brenda **Valderrama Blanco**, Instituto de Biotecnología. Universidad Nacional Autónoma de México.
Nydia Xcaret **Valladares Arias**, Instituto de Energías Renovables de la UNAM.

De manera especial el libro incluye cuatro trabajos de investigación llevados a cabo por un grupo multidisciplinario de especialistas franceses, bajo la supervisión de la Alianza Industria del Futuro de Francia, los cuales fueron incluidos gracias a la mediación de Alfred Rodríguez, Embajador de Francia en México en temas de la industria del Futuro y Presidente de la comisión de innovación y tecnología para la competitividad, Confederación de Cámaras Industriales de los Estados Unidos Mexicanos (CONCAMIN).

A todos los participantes en este proyecto de investigación y a las diferentes instituciones a las que pertenecen, les brindamos nuestro mayor agradecimiento por haber hecho posible la integración y publicación de la obra.

Esperamos desde luego que el contenido del presente libro contribuya a la construcción de esta primera relatoría sobre los nuevos temas de Industria 4.0 y tecnología 5G; al mismo tiempo que pueda sumarse a todos aquellos esfuerzos que desde diferentes lugares del país se están llevando a cabo, primero, para difundir la naturaleza de estas nuevas megatendencias, y segundo, para que la nación tenga la oportunidad de integrarse a estas corrientes del futuro de una manera responsable y atinada.

Dice un proverbio chino que el mejor momento para plantar un árbol era hace 20 años, y esto aplica para lo que México debió haber realizado con su política industrial desde los noventa del siglo pasado. Agrega el proverbio que el segundo mejor momento es hoy, y en este sentido, con voluntad política, educación y una nueva política industrial integral, para el país se abre la oportunidad de retomar el camino perdido y emprender la construcción de un desarrollo más acorde con las tendencias de una era de un tiempo nuevo.

Otoño, 2019
Arturo Oropeza García

0b. Introduccion.indd 21 12/19/19 13:10

CAPÍTULO I
LOS RETOS DE LA INDUSTRIA DEL FUTURO. LA IMPORTANCIA DE CONTAR CON UNA POLÍTICA INDUSTRIAL INTEGRAL DE LARGO PLAZO

1. Arturo.indd 23 12/17/19 16:33

Revolución Industrial y desarrollo. Antecedentes y vislumbres de la Industria 4.0

Arturo Oropeza García*

I.

El tema del desarrollo tecnológico e industrial, una asignatura imprescindible de la agenda global, tiene tal dimensión e importancia que a lo largo del tiempo ha definido las líneas del progreso del ser humano; de igual modo que la fuerza de estos dos factores a través de los siglos y de los milenios ha decidido muchas veces la balanza entre ganadores y perdedores, así como la relación entre los países que tienen desarrollo y los que carecen de él.

El tema tecnológico de ninguna manera es nuevo, es tan viejo como el propio ser humano. Como ya se ha visto a través de la historia de la humanidad, la tecnología y en su momento la industria como su expresión de apropiación masiva, han sido determinantes no sólo para mejorar las condiciones de vida y de bienestar de los diferentes pueblos, sino que han llegado a definir hegemonías e imperios como ha sucedido en las ediciones más recientes en el siglo XIX con Inglaterra, en el XX con Estados Unidos y en el XXI en el debate que sostienen China y Estados Unidos por su liderazgo.

Rifkin nos invita en el siglo XXI a la Tercera Revolución Industrial y nos sentimos llamados a una nueva época sin precedentes. Schwab en Davos, Suiza, nos convoca a enfrentar la Cuarta Revolución Industrial "… Que no se parece a nada que la humanidad haya experimentado antes" (Schwab, 2017, p. 13), y la palabra *tecnología* nos aparece por todos lados con un perfil híper moderno, de nuevo cuño, que no acabamos de entender. De igual modo nos amenazan que si no formamos parte de la nueva sociedad o economía del conocimiento determinada por la alta tecnología no seremos invitados a la fiesta del futuro.

Más allá de la veracidad o limitación de cada una de estas afirmaciones, lo que destaca es la aparente novedad del uso de palabras como *tecnología*, *ciencia* e

* Investigador del Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM. Vicepresidente del Instituto para el Desarrollo Industrial y el Crecimiento Económico (IDIC).

1. Arturo.indd 25 12/17/19 16:33

industria, cuando las dos primeras nacen, como ya se dijo, con el ser humano, y la tercera lo ha venido determinando en una carrera que no ha tenido reposo desde la primera mitad del siglo XVIII.

La tecnología aparece con las primeras habilidades del ser humano; con el desarrollo de su primera destreza; con el conjunto de saberes que surgen de la experiencia y del resultado de varias preguntas que a fuerza de aciertos y errores fueron generando el conocimiento. Por ello, desde un principio los griegos asociaron a la tecnología con la raíz *téchne*, que se refiere a un oficio, a una destreza, a una habilidad que por medio del conjunto de saberes y conocimientos constituía una técnica para resolver un determinado problema. La tecnología que es el conjunto de técnicas y saberes no es propia del siglo XXI, ni es solo la que aparece en un celular, en un chip o un ordenador. Es una disciplina que nace de las necesidades del ser humano junto con las primeras técnicas que va generando para resolverlas. Renunciar a la tecnología al principio de la historia era atentar contra la sobrevivencia, contra la vida, la alimentación, la dependencia frente a otras tribus u otro clan; al no desarrollo. Paradójicamente, a diez milenios de historia moderna no son pocos los actores públicos y privados que han olvidado que la renuncia a la tecnología –y desde el siglo XVIII a la industria– nos pone ahora en el mismo nivel de riesgo que antes, en el de la sobrevivencia ecológica, del rezago o dependencia de la salud, de la insuficiencia o pérdida de la autonomía alimentaria, del subdesarrollo tecnológico industrial o el de la dependencia económica y política respecto a actores modernos que no han olvidado el antecedente o la importancia del quehacer tecnológico-industrial.

Sobre la antigüedad del avance tecnológico comenta Ridley: "Desde hace unos 45 mil años, los habitantes de Eurasia occidental poco a poco habían revolucionado sus herramientas. Habían creado hojas delgadas y afiladas a partir de *núcleos* cilíndricos de piedra, un truco que, a pesar de ser más difícil, produce diez veces más filo que la vieja forma de trabajar. Hace aproximadamente 34 mil años estaban haciendo puntas de flecha hechas de hueso, y hace unos 26 mil fa. bricaban agujas. Las herramientas para lanzar jabalinas de hueso o átlatl –que alimentaban considerablemente la velocidad de las lanzas–, ya habían aparecido hace 18 mil años, seguidos pronto del arco y flecha. Los perforadores de microburil eran utilizados para taladrar los agujeros en las agujas y las cuentas. Las herramientas de piedra, por supuesto, serían solo la pequeña punta de un iceberg tecnológico dominado por la madera, la cual se pudrió hace mucho tiempo" (Ridley, 2010, pp. 76-77). Como puede apreciarse, la tecnología ha jugado un papel preponderante en la vida económica, política y social de la humanidad.

"El caballo y su domesticación –dice Attali– le dio a Asia central el poder frente a Mesopotamia; el timón de codaste llevo dicho poder a Europa; la galera permitió que Venecia superara a Brujas; la imprenta fue para Ambéres la clave

1. Arturo.indd 26 12/17/19 16:33

del triunfo; la carabela posibilitó el descubrimiento de América; la máquina de vapor le dio el éxito a Londres. Una nueva fuente de energía (el petróleo), y un nuevo motor (de explosión) y un nuevo objeto industrial (el automóvil) conferirían el poder a la costa este de Estados Unidos y a su ciudad dominante Boston" (Attali, 2006, p. 78). Sobre el mismo tema de la hegemonía de la tecnología apunta Ridley: "Hace 50 mil años, la 'zona caliente' era Asia occidental (hornos, arcos y flechas), hace diez mil era la Creciente Fértil (agricultura, alfarería), hace 5000 Mesopotamia (metal, ciudades), hace dos mil India (textiles, acero), hace mil China (porcelana, impresión), hace 500 Italia (contabilidad por partida doble, Leonardo), hace 400 los Países Bajos (el Banco de Ámsterdam), hace 300 Francia (Canal du Midi), hace 200 Inglaterra (el vapor), hace cien Alemania (los fertilizantes), hace 75 Estados Unidos (producción en masa), hace 50 California (las tarjetas de crédito) hace 25 Japón (el walkman)" (Ridley, 2010, p. 245). Los conceptos, las fechas y los actores, como podemos ver, pueden cambiar, pero lo que se mantiene invariable es que la aparición o la apropiación de nuevas tecnologías es lo que ha definido el éxito o el desarrollo económico de los diferentes países, los cuales han venido rotando en el tiempo conforme a su capacidad de reacción frente al saber tecnológico.

II.

Hablar de progreso es hablar de avances tecnológicos, de nuevos desarrollos industriales, de acumulación de conocimientos, de habilidades, de innovación, etc. Sin embargo, si bien la tecnología ha sido acompañante permanente de la humanidad, la acumulación de conocimientos y la multiplicación de los saberes no ha sido la misma y tal vez esta dinámica sea la que ahora le dé a la palabra tecnología, tan antigua, una sensación híper moderna. "Hubo más invenciones en el periodo comprendido entre hace 80 mil y hace 20 mil años –dice Ridley con toda seriedad– que las que hubo en el millón de años que le antecedieron. Esto parece lento si se le compara con los estándares modernos, –agrega Ridley– pero comparada con los del Homo Erectus tenía la velocidad de un relámpago" (Ridley, 2010, p.77). Esta visión de velocidad y acumulación de progreso es la que, por un lado le dio al hombre antiguo la sensación de lentitud de su desarrollo, como al ciudadano global de hoy el frenético cambio le provoca una falta de certeza que no acaba de entender y menos de administrar. Por eso esa sensación entre magia y espanto de un futuro tecnológico-industrial que a pesar de los avances logrados no es posible definir ni precisar. La innovación del pasado, de la que nos platican Ridley, Attali, Mahbubani, etc; poco tiene que ver con la capacidad de innovar de la época moderna, donde el progreso tecnológico ya no se mide por milenios o siglos como antes. Ahora se valora a través del incre-

1. Arturo.indd 27 12/17/19 16:33

mento de las capacidades de almacenamiento y velocidad de la información que nos lleva a un nuevo mundo digital que es una usina inagotable de información donde se generan aproximadamente 2.5 trillones de bytes diarios; 500 terabytes de información se suben por día a Facebook, el equivalente a 20,000 discos de blue-ray. Instagram absorbe 80 millones de fotos y en Youtube se reproducen 1000 millones de horas de video cada 24 hrs; se envían 204 millones de emails, se visualizan 10 millones de anuncios y se ejecutan 4 millones de búsquedas por minuto, etc. (Galup, 2019, pp. 39-40). Pero es precisamente la acumulación y la velocidad de datos de la sociedad global la que abre las puertas a una nueva época que hoy nos define y que se ha tratado de identificar como industria 4.0 y tecnología 5G.

III.

A partir del siglo XVIII todo cambia, nada vuelve a ser igual y no podrá ser lo mismo; con todas sus grandes ventajas pero también con todo el cúmulo de incertidumbres y amenazas que el cambio industrial ha traído consigo. ¿Por qué en el siglo XVIII explota en Inglaterra la acumulación de conocimiento euroasiático y se transforma en una corriente permanente de innovación tecnológica-industrial que no ha tenido fin? Son muchas las interpretaciones que se hacen al respecto pero a semejanza de la Teoría del Big Bang del origen del universo, las opiniones sobre el Big Bang industrial y tecnológico también arriban a un lugar lleno de especulaciones y poca precisión: abundancia de capital, sociedad abierta, aumento de la libertad individual, nuevas instituciones políticas, mayores niveles de educación, revolución científica, cultura, reservas de carbón, etc. Lo cierto es que la vida del ser humano a través de una combinación de tecnología e industria cambio de manera radical.

Los cambios económicos y políticos anteriores al siglo XVIII, como se adelantó, también fueron acompañados por el componente tecnológico; sin embargo, fue el factor militar el que definió el predominio geopolítico del momento la mayoría de las veces. No obstante, conforme desdoblaba el segundo milenio, las llamadas hegemonías preindustriales ya avisaban de los signos que identificarían los nuevos tiempos. En Brujas (1200-1350) por ejemplo, innovaciones como la rotación de cultivos, el arnés delantero, el molino de agua, la mecanización de la pisa de las uvas, dieron inicio a la producción industrial de alimentos; la invención del timón de codaste (que permitía a los barcos remontar el viento) fue parte de las nuevas líneas de tecnología e industrialización que sostuvieron su predominio temporal. Venecia (de 1350 a 1500) también fundó su predominio en la construcción de barcos; en un nuevo diseño técnico para navegar con remo y vela y acaparar el comercio de la época. No obstante, como comenta Attali de

1. Arturo.indd 28 12/17/19 16:33

manera interesante, Venecia no inventa, sino que copia y pone en práctica las ideas tecnológicas de los demás, como lo hizo China y la mayoría de los países asiáticos en el siglo XX. Amberes (de 1500 a 1560) se soporta en los altos niveles alcanzados en la técnica de teñir tejidos; de igual modo que en convertirse en el primer usuario industrial de una innovación tecnológica muy importante (la imprenta) que, si bien se inventó en China, la ciudad de Amberes tuvo la capacidad de transformarla y convertirla en la primera máquina de transmisión de datos del mundo. Vale hacer notar que con esta industrialización (el libro fue el primer bien producido en serie) también se abrió para todo el mundo renacentista el conocimiento euroasiático acumulado a lo largo de más de siete milenios. Ámsterdam (1620-1788) aparece como un ejemplo preindustrial similar, donde a través de las nuevas técnicas sobre la industria de los colorantes y la mecanización del hilado, inició una exitosa etapa de industrialización textil. Con la coloración textil de toda Europa, pasó a la industrialización de la producción de barcos, dando inicio a una fabricación en serie reduciendo los costos de la navegación, logrando con ello la construcción de un gran número de embarcaciones que llegaron a transportar más bienes que todas las demás flotas europeas (Attali, 2006, pp. 52-70). En todos estos casos como puede apreciarse, si bien aparecen los componentes de dominación tradicional como la hegemonía militar, el capital, el comercio etc.; empiezan a introducirse de manera significativa como atributo de dominio los factores tecnológicos y de producción preindustrial.

Todas estas experiencias, no obstante su relevancia, fueron rebasadas a lo largo del siglo XVIII por el gran número de sus invenciones, las cuales se diferenciaron de sus similares anteriores por tener la capacidad tanto de sumar conocimientos o habilidades del saber milenario, como de transformarlos en bienes y productos de consumo masivo. La lista de los innovadores a partir del siglo XVIII en Inglaterra resulta interminable: Thomas Telford, los canales de navegación; Marc Brunel, los túneles; James Watt, la máquina de vapor (a partir de una máquina atmosférica de Thomas Newcomen y Savery);Richard Trevithick, la locomotora; William Congreve, los cohetes; Joseph Bramah, la prensa hidraúlica; Edmund Cart Wright, el telar mecánico; Mathew Boulton, la fábrica; Humprey Davy, la lámpara de minero; Henry Mansdslay, la máquina herramienta; Eduard Jenner, la vacuna contra la viruela; Richard Arkwright, la máquina de tejer, etc. (Ridley, 2010, p. 216).

La Revolución Industrial, el fenómeno que entendemos como globalización, el comercio mundial, el cambio social y político del ser humano, la nueva geopolítica, el progreso, la civilización, la demografía, la cultura, entre otros, fueron conceptos que a través de la invención industrial y tecnológica no volvieron a ser los mismos, iniciando una etapa de transformación permanente que no se ha detenido en ningún momento, lo cual ha dificultado al ser humano su identificación, interpretación y asimilación, porque en el momento que cree que atrapa

1. Arturo.indd 29 12/17/19 16:33

el concepto de este cambio, su misma dinámica solo le permite la toma de una fotografía del momento, así como en el mejor de los casos, un principio de experiencia para la especulación de lo que vendrá, para tratar de prever el posible rumbo de lo que se está transformando.

Sería importante saber con mayor claridad sobre los prolegómenos o condiciones que mediaron para que se diera esta Revolución Industrial, pero como ya se señaló, el tema está lleno de interpretaciones en las que por ejemplo, en algunas de ellas todavía permanece el debate sobre la sinergia o jerarquía entre ciencia e invención entre ciencia y tecnología, donde todavía se discute cuanta prevalencia tiene una sobre la otra. El hecho relevante, más allá de la discusión y las diferentes teorías, es que la profundidad de estos cambios propició el fin de una Era agrícola económica que tenía cerca de diez mil años de vigencia y transformó un mercantilismo que dominó por un cuarto de siglo, dando lugar a una nueva Era industrial que inició a mediados del siglo XVIII y en la cual continuamos a la fecha.

Inglaterra, el país donde brota esta semilla tecnológica milenaria –germinada principalmente por el conocimiento ancestral euroasiático– se convirtió por más de un siglo, gracias a este brote, en la hegemonía dominante del siglo XIX y a la fecha este impulso todavía la mantiene en el séptimo lugar de la economía mundial. Gracias a esta primera industrialización, a esta transformación de insumos en bienes de consumo colectivo, entre 1800 y 1855 por ejemplo, generó que el precio de los tejidos de algodón inglés se redujera cinco veces mientras que la producción se multiplicó por cincuenta; las prendas de algodón y lino pasaron del 30% al 50% de su exportación total entre 1800 y 1855; de manera central, el valor agregado industrial del país superó en 1825 el valor de la agricultura, confirmando el cambio de Era de un mundo agrícola a otro tecnológico industrial, camino que seguirían más tarde Estados Unidos en 1869 y Francia en 1875 (Attali, 2007, pp. 75-76).

IV.

A partir de 1760 Inglaterra se va apropiando poco a poco del dominio económico-político de un nuevo orden global, apuntalado con la fortaleza de una innovadora producción industrial que era única en el mundo. Si bien su triunfo en 1814 sobre Francia ratifica en lo militar su hegemonía durante el siglo XIX, es la venta y el comercio de los nuevos productos industriales lo que le da la dominancia económica sobre los demás países, construyendo una nueva hegemonía industrial que luego sería imitada por Estados Unidos. Sin embargo, este primer brote de lo industrial solo fue el aviso de salida de una competencia sin reposo que a la fecha mantiene a la mayoría de las naciones (cada una en la medida de

1. Arturo.indd 30 12/17/19 16:33

sus circunstancias y habilidades) en una permanente competencia por lograr la estabilidad y el crecimiento económico a través de alguna modalidad tecnológica industrial, ya sea de manufactura o de los servicios.

El fin del siglo XIX y el principio del siglo XX fueron testigos de una cerrada carrera industrial en todas sus vertientes: copia, sustracción, proteccionismo, asimilación, compra, innovación, etc., la cual llevó a que a finales del siglo XIX los Estados Unidos se colocaran como el nuevo líder del mundo industrial, seguido de cerca por Alemania, Japón, Francia, los Países Bajos, etc. Comenta Frieden: "A medida que las economías se integraban, los procesos de fabricación modernos se extendían desde su limitada base en Gran Bretaña y el noroeste de Europa al continente europeo, a Norteamérica y hasta Japón y Rusia. En 1870 Gran Bretaña, Bélgica y Francia juntas generaban la mitad de la producción industrial del mundo, pero en 1913 apenas producían una quinta parte. La producción industrial alemana superaba a la británica y la estadounidense la duplicaba con creces" (Frieden, 2007, p. 88).

En el inicio del siglo XX se define la contienda industrial en favor de los Estados Unidos, liderazgo que se consolida a través de su ventajosa participación en las dos guerras mundiales. La innovación industrial, por su parte, fijo su campo de batalla en la aparición de la *producción en línea o producción en cadena*, la cual algunos autores ubican como el inicio de la Segunda Revolución Industrial, etapa en la cual EE.UU. apuntaló su hegemonía a través de su dominancia en la industria automotriz, desplazando a Francia del primer lugar que ostentaba desde 1880, a pesar de haber sido un francés el inventor del motor de explosión interna. Desde este momento, EE.UU. no perdería el liderazgo industrial hasta principios del siglo XXI, en el que la fábrica del mundo se trasladó a Asia y en particular a China, país que en 2010 se convirtió en el mayor fabricante de manufactura del mundo.

En esta nueva competencia industrial no todo ha sido un éxito. Si bien, por un lado, dentro de los efectos positivos de los avances de la tecnología y la industrialización encontramos que a partir del siglo XIX la población mundial se multiplicó seis veces, de igual modo que la esperanza de vida de 1800 (27 años) se vio incrementada geométricamente a 70 años promedio en 2010 –con una perspectiva a 2050 de 78 años promedio–, por el otro se generó un rompimiento del orden económico agrícola, cuyo traspaso hacia un nuevo acomodamiento industrial urbano ha ocasionado desfases sociales, explotación laboral, hacinamientos, profundización de las desigualdades y de manera especial un fuerte aceleramiento de la degradación del medio ambiente a través de una carrera industrial desenfrenada que se preocupó más por el paroxismo de las utilidades que por la sustentabilidad de un mundo que en millones de años de vida nunca había estado tan amenazado en su sobrevivencia como ahora.

1. Arturo.indd 31 12/17/19 16:33

No obstante, la revolución tecnológica industrial llegó para quedarse, para imponerse a una sociedad global que se ha convertido en rehén de su propio éxito; que batalla no solo para entender la etapa que vive sino hasta con el tema de su nombre, de su identificación. Al respecto acepta de manera general que estamos en una Era de cambio, en una Era tecnológica, pero no todos están de acuerdo en que sigue siendo una Era industrial; menos de producción de manufactura. De igual modo, a la primera clasificación general ha seguido un intento de segmentación que sin atentar contra el común denominador ya nos habla de una primera, segunda, tercera, cuarta y hasta quinta Revolución Industrial. Como todas las clasificaciones históricas, la denominación es arbitraria y es causa de una refutación constante sobre qué etapa de invención ha sido la más importante para definir una segmentación histórica. La gran mayoría de los preocupados en el tema aceptan la etapa de despegue (mediados del siglo XVIII), pero no se da la misma coincidencia con sus etapas posteriores. Sachs, por ejemplo, habla de una "segunda" ola tecnológica a partir de los barcos de vapor transoceánicos y la construcción de los canales de Suez (1869) y Panamá (1914); y de una tercera "oleada" de avances tecnológicos a partir de la electrificación de la industria, la lámpara incandescente y el motor de combustión interna, entre otras. Attali, por su parte, nos cuenta de nueve etapas tecnológicas mercantiles, "ordenes o corazones" que han difundido a la fecha la ruta del desarrollo industrial del ser humano. Rifkin, en su versión más acabada, describe el inicio de la Tercera Revolución Industrial que encuentra su clímax a lo largo del siglo XXI, y al final declinará para dar paso a una nueva etapa que califica de "colaborativa". Marsh nos habla de que a partir de 2005 iniciamos una Quinta Revolución Industrial y que ésta nos acompañará hasta 2040. Como se comentó, el término de Cuarta Revolución Industrial se generalizó a partir de la Reunión de Davos de 2016, donde Klaus Schwab alertó de la llegada de una nueva era tecnológica determinada por la inteligencia artificial (IA), la robótica, el internet de las cosas (IoT), los vehículos autónomos, la impresión 3D, la nanotecnología, la biotecnología, la ciencia de materiales, el almacenamiento de energía, la computación cuántica; de manera relevante la tecnología 5G, etc. En las diferentes versiones e interpretaciones lo que prevalece son los factores industrial y tecnológico, como las únicas divisas sustentables para un desarrollo exitoso.

V.

A principios del siglo XX una sociedad global incrédula vivía el mundo del asombro. Su parsimonia histórica de ayer nada tenía que ver con las novedades infinitas de su presente, en el que cada invención luchaba por desplazarse a sí misma

1. Arturo.indd 32 12/17/19 16:33

lo más pronto posible. El siglo XX vivió la transformación tecnológica que ninguna sociedad del pasado había tenido la oportunidad de conocer. Tanto los actores directos como los observadores lejanos veían con gran asombro un fenómeno que no se explicaban y que bien a bien no identificaban sus atributos ni su origen. Observaban cómo a la industria del vapor le siguió la manufactura del carbón, a las cuales a su vez les sucedieron la industria de la electricidad y del petróleo. La energía se convertía, como dice Rifkin, en la gran fuerza transformadora de las diversas revoluciones industriales. La energía atómica también se sumo a estos cambios y posteriormente la energía eólica y solar se adhirieron a las nuevas industrias del futuro. De aquella primera máquina de vapor que inaugurara Watts se escaló a las grandes turbinas y motores eléctricos con los que se impulsó a los bienes de capital. Las ferias de París, en 1900 y de Nueva York en 1939, fueron para la gente de la época verdaderas vitrinas del mundo del mañana. En París, por ejemplo, la gente pudo admirar las últimas tecnologías del momento como el telégrafo sin hilos; el telescopio más poderoso de su época; la electricidad con todo el asombro que involucró el pasar de un mundo de tinieblas a un mundo de luces; la primera escalera mecánica; el cinematógrafo; el motor de combustión interna; lentes fotográficas; maquinas de escribir; automóviles; enormes dinamos y grúas; el poderío alemán industrial; los altos hornos japonenses, etc. Por otro lado, en la exposición mundial de Nueva York los visitantes se asombraron con las innovaciones de la televisión; el cine; el primer cerebro electrónico, antecedente de los primeros ordenadores; los primeros robots; el ojo eléctrico; el refrigerador; etc. Desde entonces, a pesar de la coincidencia que le pudiéramos conceder hoy, un asistente a estas ferias ya exclamaba "el mundo se mueve tan rápidamente que uno se marea…agitado en un torbellino de progreso" (Frieden, 2006, p. 85). Como sabemos bien, esta sensación de movimiento producido por la Era de la Revolución Industrial, generada tanto por la tecnología como por la industrialización de la misma, lejos de parar sigue incrementando su velocidad de manera exponencial hasta un infinito hoy impredecible.

El mundo del siglo XX asistía al banquete de la Revolución Industrial como actor o espectador; como ganador o perdedor; pero todos los países aspiraban a participar en esta explosión del desarrollo.

VI.

La sociedad global no supo que vivía un nueva Era llamada Revolución Industrial hasta que en 1886 (cerca de 140 años después), Arnold Toynbee Sr. (el tío del famoso historiador) la bautizara con ese nombre en un discurso dictado en Oxford (Bell, 1999, p. XII). De igual modo, la sociedad global de los setenta no

1. Arturo.indd 33 12/17/19 16:33

sabía, como no lo sabe con precisión al día de hoy si estaba en la 1ª, 2ª o 3ª etapa de este proceso industrial o incluso si ya había una 4ª o 5ª división, ola, impulso o revolución industrial. Sin embargo, así como el bautizo de la Revolución Industrial se hizo con gran atraso, el avisó de su *terminación* –gracias a diversos autores como Daniel Bell, Jerold Hage, Charles H. Powers, Fred Block, etc.– se realizó, de acuerdo con los comentarios de Rifkin, con más de 100 años de anticipación. Bell, en una obra destacada de su tiempo (El advenimiento de la sociedad post-industrial, 1973), alerta con antelación a una sociedad hipersensible al fenómeno del cambio industrial que la época conocida como Revolución Industrial estaba llegando a su término y que una nueva Era post-industrial dominada por los servicios de la Era de la información (comercio, finanzas, salud, educación, etc.), en un nuevo maridaje entre ciencia y tecnología pasaría a ser el detonante del desarrollo. Que una nueva Era soportada por el cambio industrial a lo electrónico; la miniaturización (nanotecnología); la digitalización y el software en sus diversas expresiones, advertían ya de una nueva sociedad global dominada por la inteligencia y el conocimiento tecnológico, los cuales desplazarían al trabajo mecánico, eléctrico y electromecánico de la otrora Revolución Industrial, lo cual ha venido sucediendo desde entonces a la fecha.

No obstante, a pesar de que claramente señalaba desde el inicio del título que se trataba de una Era por venir (la cual el mismo Bell en 1999, en documentos de seguimiento la ubicó partir del siglo XXI), no fueron pocos los tomadores de decisiones –como Václav Havel, Margaret Tacher o el propio ex presidente Clinton–, así como toda una corriente académica a nivel global, que festinaron no solo el aviso del cambio, sino el desmantelamiento de sus propias estructuras industriales, en una equivocación histórica entre la forma y el fondo. Al respecto, con toda oportunidad comenta Marsh: "Para todo lo que se ha hablado de que el mundo se está trasladando a una era 'post-industrial', las fábricas a principios del siglo XXI están produciendo considerablemente más bienes que antes. En el año 2010, la producción manufacturera fue aproximadamente 150% mayor que en 1990, 57 veces más de lo que fue en 1900 y 200 veces superior a la producción en 1800" (Marsh, 2012, p. 15).

La visión de que la industria manufacturera era una etapa agotada, fue una de las razones de *confusión* por las que un buen número de países occidentales optaron por descuidar, o de plano cancelar sus políticas de desarrollo industrial en una adelantada interpretación de que la Era del conocimiento estaba absorbiendo ya tanto al desarrollo como al empleo; y así como a la época moderna le había tocado atestiguar del siglo XVII al XIX y XX el traslado de la actividad del campo a la industria y a las ciudades, así a la sociedad global de la tercera parte del siglo XX le tocaba ser testigo del traspaso de una sociedad industrial a una

1. Arturo.indd 34 12/17/19 16:33

del conocimiento y la transformación de obreros industriales a empleados de los nuevos servicios de la inteligencia tecnológica. La caída de la participación industrial en el componente económico de los países occidentales encuentra su mayor explicación en esta nueva idea del desarrollo de finales del siglo XX, el cual presenció la carrera desaforada de los otrora países industrializados por subir la participación de sus servicios y cancelar, disminuir o relocalizar sus instalaciones de manufactura industrial. En un análisis preocupado sobre esta hipótesis, en un acto de fe sobre la apuesta adelantada de Estados Unidos por los servicios del conocimiento y sus consecuencias comentaba Thomas Friedman: "Esta asunción no tiene en cuenta el hecho de que, aunque con frecuencia miles de empleados en grandes empresas concretas se quedan sin trabajo (porque éste subcontrata o se traslada fuera), y aunque esta pérdida tiende a ocupar los titulares de las noticias, también se generan puntos de trabajo a pocos o a decenas o a veintenas en pequeñas empresas que no son tan visibles para ti. A menudo hace falta *mucha fe* [1] para creer que esto está ocurriendo (Friedman, 2006, p. 242).

Desde luego está desfasada lectura de la superposición de ciclos y tendencias económico-industriales no fueron los únicos factores que intervinieron dentro de este histórico proceso de desindustrialización seguido por las economías occidentales. Dentro de este fenómeno también aparece el regreso de la economía occidental a sus instintos de maximización de sus utilidades a costa de la precarización de los otros factores de la producción, en este caso el factor trabajo, a través de la toma de plusvalía de los obreros asiáticos, lo cual rompió con uno de los éxitos más sensibles del acuerdo de postguerra que fue el de tomar en cuenta el costo de las prestaciones sociales dentro del intercambio internacional.

La carrera por lo precario disfrazada de *offshoring o relocalización*; la decisión de los actores económicos occidentales por apropiarse de la plusvalía social asiática a través de bajos salarios y nulas prestaciones sociales; el cambio de paradigma de un modelo económico socialmente responsable por un dogmatismo de mercado; la idea equivocada de que la política tecnológica industrial no importaba porque los países desarrollados ya habitaban el reino del conocimiento dentro de una nueva Era post-industrial de la inteligencia rompió un *orden* Brettoniano que a la fecha no ha podido reconstruirse de manera sustentable, pero que en su anarquía ha provocado un sinnúmero de decisiones que han dado origen al desorden global y al reacomodo geopolítico y económico que vivimos a la presente fecha. De manera central, esta decisión occidental generalizada de subvalorar la estrategia industrial y de manufactura generó a la postre el *resurgimiento* industrial de China en particular y de Asia del Este en general.

[1] El subrayado es del autor.

1. Arturo.indd 35 12/17/19 16:33

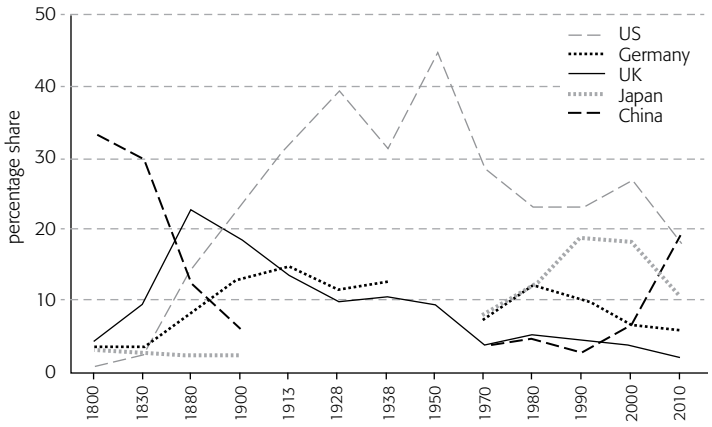
VII.

En la primera parte del siglo XVIII, todavía en la Era preindustrial, China se presentaba como el gran líder de la manufactura de su tiempo con el 30% de la producción mundial, seguido por India con el 25%. El líder preindustrial europeo en esa época era Rusia con apenas el 5% de la producción mundial, seguido de Francia, Inglaterra e Irlanda, que de manera conjunta representaban solo un 2%. Como se sabe, esa geografía de la manufactura preindustrial cambio radicalmente ante el nacimiento de la Revolución Industrial y con ella la explosión de invenciones que la acompañaron, las cuales impulsaron la participación industrial de Inglaterra del 2% al 25%, colocándola, como ya se dijo, en la hegemonía industrial en la tercera parte del siglo XIX. Para 1900, con fundamento en su proceso de innovación, los Estados Unidos tomaron el liderazgo industrial con el 24% aproximado de la producción total del mundo, dejando atrás a Inglaterra con el 18.5% y a Alemania en el tercer sitio, con el 13.2% (Marsh, 2012, p. 4-5). Desde 1830, Estados Unidos inició un proyecto industrial que lo llevó al liderazgo mundial en 1900, mismo que sostuvo hasta 2010, año en que fue superado por el éxito industrial chino. Sin embargo, desde 1900 hasta el siglo XXI la invención y la innovación norteamericana llevaron al país americano a mantener una amplia ventaja sobre los demás países por más de 100 años, con un 30% promedio de la producción mundial y con porcentajes de hasta el 45% del total mundial en 1950; una hegemonía que no tuvo parangón y que fue más sustentable y contundente que la alcanzada por Inglaterra. En este largo periodo, la fortaleza industrial alemana, después de lograr una segunda posición mundial se ve quebrada en 1938 a la luz de los conflictos bélicos de la Segunda Guerra Mundial; no obstante, retoma su camino a partir de 1970. Sin embargo Japón la desplaza del segundo lugar en 1980 y China la ubica en el cuarto sitio desde el año 2000.

En lo que toca a China, su registro mundial sobre el tema de manufactura industrial desaparece de 1911 a 1970 con motivo de sus problemas sociales. No obstante, a partir de 1990 reinicia con un despegue geométrico que a 2017 la lleva a encabezar el ranking de la manufactura mundial con cerca del (27) %; seguida por Estados Unidos (18%), Japón (10%), Alemania (7%), Corea del Sur (4%), India (3%), Francia (3%) Italia (3%), Inglaterra (2%), Taiwán (2%). Como puede apreciarse, el mapa de la manufactura industrial ha sufrido profundas transformaciones en un debate poco revelado entre Asia y Occidente.

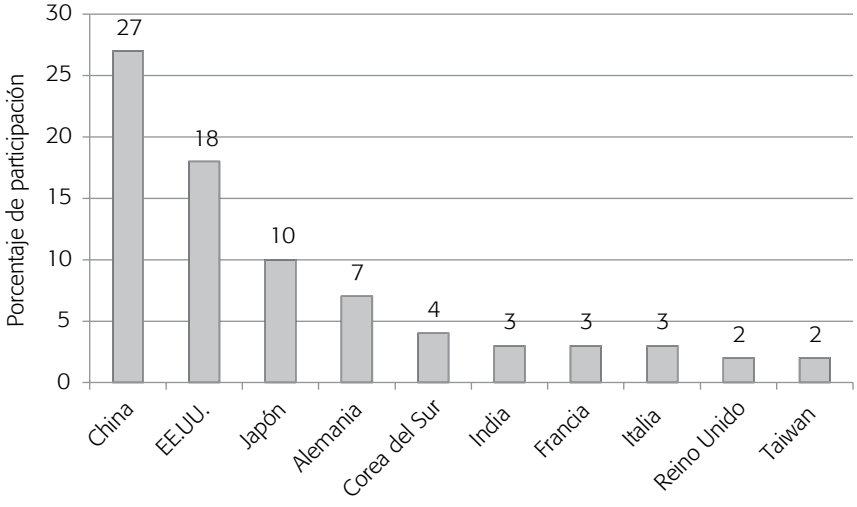
1. Arturo.indd 36 12/17/19 16:33

Gráfica 1
Producción manufacturera
(1800-2010)



Fuente: Marsh, 2012.

Gráfica 2
Países líderes de la producción manufacturera
(Por porcentaje de participación)



Fuente: *United Nations Conference on Trade and Development, 2017.*

1. Arturo.indd 37 12/17/19 16:33

VIII.

A fines de la década de los setenta, llevada de la mano por el liderazgo de Deng Xiaoping, China inicia una aventura, un *experimento* en el que por primera vez en su historia se abre a un mundo global en busca de un futuro económico ante el fracaso de sus estrategias internas que la habían llevado a hambrunas (30 millones de muertos en 1960) y padecimientos extremos. El mundo post-industrial de Daniel Bell aparece en 1973, justo cinco años antes que Deng Xiaoping le ofertara al mundo 900 millones de obreros chinos, que ante su urgente necesidad de comida, vestido y techo, estaban dispuestos a trabajar por 30 centavos de dólar la hora sin ningún tipo de prestación social; por el contrario, otorgando ventajas al capital externo en cuanto a infraestructura y apoyos fiscales. Para el mundo occidental, ya *ubicado* en el mundo post-industrial de los servicios de la inteligencia, la manufactura se convirtió en un *subsector* que bien podía ser atendido por las naciones en vías de desarrollo y por otro lado, abandonado el modelo Brettoniano y la responsabilidad del Estado de Bienestar, la mayoría de los países desarrollados no pudieron resistir la tentación de precarizar la plusvalía asiática, pensando que –como en la época del liberalismo desenfrenado de la Primera Revolución Industrial– *esto no tendría consecuencia alguna* y que China, Asia y el resto de los países a precarizar tan solo se convertirían en una gran maquiladora global, la cual podría desmantelarse en cualquier momento o dirigirse desde el mundo post-industrial de la inteligencia. Esto no fue así, y si bien China durante los ochenta y noventa sostuvo su oferta de mano de obra barata, desde el primer momento dejo en claro que esa oferta solo sería un punto de partida mientras se hacía de los recursos para generar su propio desarrollo. Desde la firma del primer contrato de *Joint Venture* de 1979, China condicionó la entrada de capital extranjero al traspasó de tecnología, dando lugar al mayor proyecto del que se tenga memoria "de expropiación tecnológica", a través de todo tipo de medios y de instancias hasta lograr en la actualidad una asimilación científica y tecnológica de primer mundo, encarrilada ahora bajo su propia innovación.

El liderazgo de Inglaterra nace bajo una explosión de inventos industriales; el de Estados Unidos en un proceso de asimilación e innovación de productos tecnológicos industriales. La hegemonía China, a diferencia de los dos ejemplos anteriores, nace de la copia informal y formal de la tecnología industrial de Occidente. El *deshecho* industrial occidental coincidió con la necesidad de China. El descuido y la tolerancia de Occidente sobre la toma y apropiación informal de su acervo tecnológico por parte de Asia y de China, solo rivalizó con la desmedida precarización de sus actores económicos. El nuevo mapa industrial resulta el antecedente directo del ahora debate China- Estados Unidos por el liderazgo de la tecnología inteligente del siglo XXI y con ello la hegemonía de un nuevo

1. Arturo.indd 38 12/17/19 16:33

periodo que será determinado por el país que mejor desarrolle la industria 4.0 y la tecnología 5G.

IX

La apuesta a la no política industrial o su simulación a través de una exportación maquiladora disfrazada de manufactura; o su delegación en manos de un mecanismo ciego como el mercado (como dice Octavio Paz); afectó un desarrollo industrial por varias décadas en el mundo occidental que no se detiene únicamente en las plantas cerradas, relocalizadas o los empleos no generados, sino que involucra y afecta un sinnúmero de fundamentos del crecimiento. La industria manufacturera, como todo sector económico, trasciende de su propia competencia y se prolonga con sinergia dentro de los demás sectores. El caso del sector secundario, por su propia naturaleza, es un sector puente entre el agrícola y el terciario, como parte de un eslabonamiento virtuoso que nace de la propia Revolución Industrial. Al mismo tiempo, el propio sector genera lo que Pisano llama los "*industrial commons*", que son el conjunto de habilidades o capacidades que se van desarrollando con la propia actividad industrial, los cuales dan soporte a temas tan relevantes como la innovación (Pisano & Shih, 2012, p. XII).Cuando se detiene la industria tecnológica, las capacidades y habilidades que generaban quedan también bloqueadas o canceladas en una disminución del potencial país en materia de innovación. Al propio tiempo, la actividad de investigación y desarrollo que se realizaba con motivo de dicha actividad industrial, sea por la empresa, la universidad o el gobierno, con su cancelación o desplazamiento deja de necesitarse o se traslada al exterior por razones de ubicación o costo, donde sí se hace manufactura. El impulso manufacturero no es solo una planta industrial que genera empleo, es toda una cultura sectorial que motiva una serie de habilidades o prácticas que se mantienen en movimiento en una inercia hacia un rango superior de su propio desarrollo. Es el conocimiento del cual parte la idea primaria de la innovación en un afán de mejora de resultados, de productividad y de competencia. Es un proceso educativo que de manera directa o indirecta se eslabona con el quehacer industrial para apuntalar el conocimiento y la mejora industrial; es el conocimiento acumulado que se va haciendo ciencia o disciplina que da fortaleza a la vida de las naciones. El proceso industrial es cambio constante, es evolución, es mejora continua, es parte de un proceso de prueba error infinito que pone a prueba el talento de los países, que a diferencia de un esquema de maquila, por más abierto que sea, reta a un sector económico social a probar su capacidad y destreza frente a otros competidores exógenos. Es una actividad que obliga al ejercicio holístico de las ventajas competitivas del Estado involucrando sus procesos de educación pública y privada; de políticas de

1. Arturo.indd 39 12/17/19 16:33

energía; de política laboral, fiscal y de comercio; de apoyos de crédito público; de ciencia y tecnología; de infraestructura; de sus políticas macroeconómicas y monetarias; demográficas; entre muchas otras.

Para la actividad industrial, la tecnología manufacturera, todo este impulso muere porque se estima que no importa, porque no hace falta porque se desplaza por precarización de costos a otros mercados; porque la magia de las fuerzas del mercado se encargarán de sustituir el impulso responsable del Estado; o porque el quehacer industrial será sustituido por obra de magia a través de la creación de servicios calificados de la era del conocimiento. Por ello la pérdida para Occidente en el transcurso de estas últimas décadas ha sido enorme, porque no solo se cayó su porcentaje de participación de su sector manufacturero o incluso se perdió empleo. De manera más relevante se debilitó una cultura industrial de innovación o cedió de manera irresponsable un saber tecnológico que ahora lo colocan en una posición de confrontación frente al desarrollo de la alta tecnología asiática.

La debilidad o disminución en su manufactura, como lo saben ahora, no solo ha sido la pérdida de su planta local, de la actividad económica manufacturera o el empleo, es también sinónimo de debilidad tecnológica, de falta de capacidad para innovar; para patentar; de crear conocimiento nuevo; de carecer de una plataforma industrial robusta para el desarrollo de este nuevo siglo.

La manufactura industrial importaba e importa mucho. Haber creído que era posible el desarrollo económico de un país sin una política industrial ha sido un gran error de Occidente. El ejemplo asiático le recuerda todos los días, dentro de un juego de espejos, las amplias alternativas de desarrollo que dejó atrás. Por su parte el Presidente Macron de Francia sobre su olvido industrial declara "Si queremos triunfar, ser justos con los más débiles y mantener nuestro rango de país internacional, solo tenemos un camino: producir en nuestro país y gestar de este modo las condiciones de una nueva prosperidad. La desindustrialización francesa es una de las causas de nuestra desgracia" (Macron, 2016).

X.

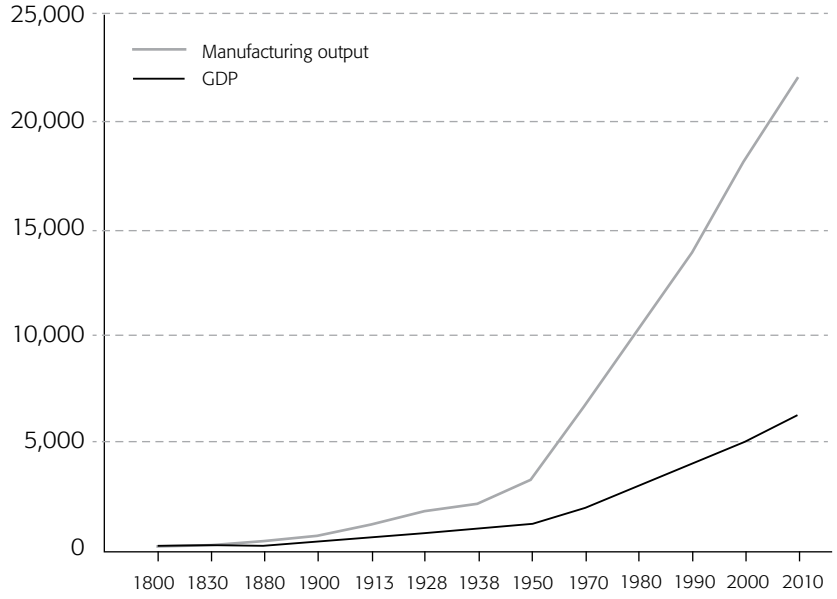
¿Qué nos espera tecnológicamente en el siglo XXI?.Primero reconocer que se vive una etapa inédita que si bien es un desdoblamiento de la Primera Revolución Industrial, más que una cuarta o quinta revolución industrial lo que se enfrenta es una verdadera Revolución Digital por la profundidad y complejidad de sus cambios.

En cuanto a la manufactura, en una primera línea de aproximación podría decirse que justo cuando Bell anunció la próxima llegada de la sociedad post-industrial (1973), el crecimiento de la producción manufacturera mundial disparó

1. Arturo.indd 40 12/17/19 16:33

sus índices en una tendencia que hasta la fecha no se ha frenado. No obstante la evidencia empírica anterior, la idea conceptual de que la Revolución Industrial ha concluido sigue siendo tan fuerte, que además de orientar la política pública de múltiples países llevó a comentar a Rifkin los siguiente: "…el título de este libro (La Tercera Revolución Industrial, 2011) me tuvo atormentado durante meses, pues me preguntaba quién iba a congraciarse con una obra en cuya portada figurara la palabra *industrial* en letras bien grandes. Parecía algo tan del pasado. ¿A quién le preocupa hoy en día lo industrial salvo a ingenieros y a líderes sindicales?" (Rifkin, 2011, p. 351). A lo cual el propio autor se contesta: "La Tercera Revolución Industrial (TRI) es la última de las grandes revoluciones industriales y pondrá los cimientos de la infraestructura de la era colaborativa actualmente emergente. Durante los cuarenta años que dure la construcción de esa infraestructura de la TRI, se crearán centenares de miles de nuevas empresas y cientos de millones de nuevos empleos. Su consumación marcará el final de una saga comercial de doscientos años, caracterizada por el pensamiento industrioso y el funcionamiento en mercados empresariales (y gestionada por una mano de

Gráfica 3
Producción manufacturera mundial y PIB (1800-2010)
(producción medida como un índice donde 1800 = 100)



Nota: La producción manufacturera calculada en valor agregado; ambos grupos de datos utilizan dólares constantes de 2005.
Fuente: Marsh (2012).

1. Arturo.indd 41 12/17/19 16:33

obra de carácter masivo), y el inicio de una nueva era marcada por la conducta colaborativa, las redes sociales y una mano de obra formada por personal técnico y profesionales especializados. En el próximo medio siglo, el funcionamiento empresarial centralizado característico de las dos primeras revoluciones industriales irá siendo progresivamente subsumido en las prácticas empresariales y convencionales distribuidas de la Tercera Revolución Industrial, mientras que la organización jerárquica tradicional del poder económico y político cederá su lugar al poder lateral organizado de forma nodal a lo largo y ancho de la sociedad" (Rifkin, 2011, p. 18).

En el marco del debate global sobre la manufactura industrial, la oferta de Rifkin resulta esclarecedora en la medida que a diferencia de otras posturas (Bell, T. Friedman, Block, etc.) rescata de manera ecléctica los elementos vigentes de la industria de hoy y los eslabona en la traducción de una relatoría moderna y convincente. De este modo, sin caer en una postura precipitada sobre el fin de la manufactura industrial, al mismo tiempo que rescata su importancia del presente, tampoco rehúye el compromiso de ubicarla dentro de su proceso natural de declinamiento provocado tanto por el factor del acelerado desarrollo tecnológico de la industria 4.0, como por el agotamiento de una sociedad carbónica industrial que no ha sabido administrar de la mejor manera los factores de la tecnología y su entorno. Por ello, si bien por un lado nos comenta que "es probable que la Tercera Revolución Industrial sea la última oportunidad que tengamos en la historia de crear millones de puestos de trabajo asalariados convencionales en masa" (Rifkin, 2011, p. 27), por el otro nos habla de los nuevos pilares que desde su punto de vista debería descansar una Tercera Revolución Industrial que tendrá como uno de sus objetivos prioritarios preservar la sustentabilidad de la Tierra, a saber:

- El traslado a la energía renovable.
- La transformación de los edificios de cada continente en microcentrales eléctricas que recojan y reaprovechen in situ las energías renovables.
- El despliegue de la tecnología de hidrógeno y de otros sistemas de almacenaje energético en edificios e infraestructuras.
- El uso de la tecnología de Internet para transformar la red eléctrica de cada continente en una "*interred*" de energía compartida que funcione exactamente igual que Internet.
- La transición de la actual flota de transportes hacia vehículos de motor electrónico. (Rifkin, 2011, p. 60).

Rifkin nos invita a lo largo del siglo XXI a administrar convenientemente la última etapa industrial del siglo XVIII; del mismo modo que nos propone los ele-

1. Arturo.indd 42 12/17/19 16:33

mentos a considerar para poder aterrizar en una Era post carbónica de manera sustentable.

Con un enfoque diferente, pero con líneas torales hacia la manufactura del siglo XXI, Pisano y Shih nos recuerdan lo necesario que es contar como punto de partida con una Estrategia Económica Nacional para la Manufactura (Política Industrial), la cual trascienda en primer lugar de la falsa disyuntiva entre Estado y Mercado, argumentando que "los norteamericanos (como Europa o América Latina) han quedado atrapados en un debate sin sentido sobre las virtudes del libre mercado versus la intervención gubernamental. La historia de EE.UU. muestra claramente que a pesar de que el país ha tenido una de las economías más orientadas al mercado del mundo, las políticas gubernamentales siempre han jugado un papel vital complementario en provocar el crecimiento económico. Agregando sobre el tema con contundencia: "ahora no es el momento de estar participando en una guerra ideológica sobre este debate. Es el momento de actuar" (Pisano & Shih, 2012, pp. 136-137). De igual modo, Pisano y Shih recomiendan dejar muy en claro los objetivos que se pretenden con una política industrial, aclarando que si bien en Estados Unidos el poder político esta priorizando la generación de empleos, el objetivo más importante que debiera rescatarse dentro de dicho plan es generar y mantener las habilidades del sector en materia de innovación. Agregan que la productividad, como también lo indica Rifkin, seguirá siendo la enemiga del empleo masivo, pero que las habilidades y capacidades de la manufactura ayudarán a mantener saludable a la innovación. De igual modo, alertan sobre la elección oportuna de los sectores a incorporarse en la estrategia de manufactura recomendando temas nuevos como robótica, nanomateriales, biomanufactura, etc. Desde luego recomiendan la participación del Estado en temas como financiamiento a bajo costo para desarrollos nuevos y estratégicos; formación de capital humano; desarrollo científico; infraestructura; laboratorios de I+D; o sea, una intervención moderna orientada a crear y fortalecer sus habilidades industriales del siglo XXI frente a China, India, Brasil, etc. De manera importante sugieren una tasa fiscal especial (15%) para toda empresa que esté en la actividad del sector manufacturero. Indican finalmente que la pérdida de la capacidad manufacturera de un país se produce por una mala decisión y enfoque del Gobierno, por malas decisiones del sector privado y por circunstancias exógenas.

Para Perter Marsh existe una visión más sistematizada del periodo industrial y nos habla no de tres revoluciones sino de cinco; siendo la última en la cual nos encontramos. De igual modo, su propuesta habla de un siglo XXI de oportunidades donde la manufactura jugará todavía un papel importante, siempre que los actores económicos tomen conciencia y actúen con la rapidez que demandan los cambios que se están presentando en la producción industrial. De manera especial apunta que: "Mientras que la nueva revolución industrial reúne fuerzas,

1. Arturo.indd 43 12/17/19 16:33

los Gobiernos necesitarán ser hábiles al seguir los cambios y en guiarlos para satisfacer los intereses de sus países." "Ahora, un nuevo interés ha surgido en estimular las industrias basadas en la producción duradera, en campos que combinan tecnologías noveles y grandes retos globales (Mars, 2012, p. 245-246). Alertándonos sobre los programas públicos de los presidentes Obama y Trump de motivar el regreso de las empresas norteamericanas al país a través de estrategias de "*reshoring*" e "*insourcing*". De igual modo, destaca la importancia de que los Gobiernos fomenten una cultura país en la materia como se maneja en Alemania o Japón. En este rubro también subraya la conveniencia de manejar un soporte financiero estatal para las nuevas empresas manufactureras, lo cual es una herramienta necesaria y una política justificada de gobierno. Respecto a la manufactura, opina que mantendrá una fuerte influencia en la economía global durante la primera mitad del siglo XXI y seguirá estimulando el uso de nuevas tecnologías, no solo en su propio sector, sino que lo extenderá a los sectores agrícola y de servicios. Asimismo señala que el éxito manufacturero del siglo XX, que fue casi exclusivo de los países desarrollados, ha sufrido una transformación y ahora presenta conocimientos, productividades y una fuerte participación de los países en vías de desarrollo. De manera importante apunta que en materia de empleo, de 328 millones de trabajos que genera el sector manufacturero, solo 51 millones (16%) corresponden a las naciones desarrolladas y 277 a los países no desarrollados. A lo anterior agrega que haciendo un balance del año 2000 al 2010, las naciones desarrolladas continuaron con su tendencia negativa en la generación de empleos manufactureros, descendiendo de 64 millones en el 2000 a 51 en 2010. A contra flujo, en el mismo periodo los países en desarrollo crecieron un 30% para de 214 millones de plazas subir a los 277 millones de trabajos, donde se destaca que este grupo no solo absorbió el empleo perdido por los países desarrollados en dicho periodo (13 millones) sino que generó 50 millones de trabajos nuevos. Al igual que los autores antes señalados, estima muy importante el cuidado de la educación y de manera especial los trabajos de investigación y desarrollo, en una combinación de ciencia y tecnología. Finalmente, nos advierte con claridad: "En las décadas venideras, la manufactura tendrá muchas oportunidades para crecer en tamaño e influencia. Un sector manufacturero vigoroso y capaz será vital para cualquier país que quiera ser considerado un éxito del siglo XXI" (Marsh, 2012, p. 216).

"Después de todo -señala Rodrik sobre el tema- las políticas industriales se supone que han estado confinadas a la papelera de la historia en las economías modernas y las que se están modernizando, junto con otras políticas pasadas de moda, como de planeación central y protección comercial. La realidad es que las políticas industriales han corrido rampantes durante las últimas dos décadas

1. Arturo.indd 44 12/17/19 16:33

–más ahí que en las economías que han adoptado firmemente la agenda de la reforma ortodoxa" (Rodrik, 2004, p. 29). Sobre lo que después de algunas consideraciones concluye: "La lección de este estudio sobre la práctica actual es que la política industrial está lejos de haber desaparecido" (Rodrik, 2004, p. 31). Para Rodrik la política industrial no solo está lejos de desaparecer, sino que su implementación sigue siendo una herramienta que en las últimas décadas ha contribuido a seleccionar a las economías ganadoras de las perdedoras. La postura de Rodrik además de preocuparse por un buen desarrollo industrial local, profundiza en el tema de un mercado muchas veces imperfecto que crea distorsiones que deben ser corregidas por el Gobierno. Argumenta Rodrik: "Los mercados pueden funcionar mal tanto si el Gobierno interfiere demasiado como si interfiere muy poco. Las políticas de desarrollo de las últimas dos décadas han estado obsesionadas con la primera categoría de errores de políticas – errores cometidos por los Gobiernos–. Por lo tanto, los esfuerzos para reducir o eliminar los errores gubernamentales por omisión en las regulaciones de restricciones comerciales, la represión financiera y la propiedad pública –intervenciones necesarias que no fueron proporcionadas– fueron minimizados, en parte como una reacción al fuerte énfasis que se les otorgó por las primeras políticas de sustitución de importaciones. Recientemente los Gobiernos del mundo han comenzado a buscar una estrategia más balanceada; mientras que la liberalización y la privatización han fracasado en desarrollar el desempeño esperado. He argumentado en este trabajo que las políticas industriales formuladas propiamente tienen un rol importante en dichas estrategias" (Rodrik, 2004, p. 36). En la manufactura del siglo XXI de Rodrik, junto a la actualización tecnológica aparece el ejercicio de una política industrial inteligente, asertiva, estructurada, como una de las estrategias de desarrollo indispensables para contribuir a un crecimiento económico exitoso. Agrega que el momento histórico resulta oportuno ante la desilusión de los resultados obtenidos por la economía ortodoxa, lo cual ha "reblandecido" las convicciones de ambas posturas. Para tal efecto, Rodrik desarrolla una estrategia para generar un programa industrial, en el cual destacan como puntos principales el entender al programa como un proceso más que como un resultado; como una dinámica comprometida con un entorno cambiante y no como un documento inmutable. De igual modo, dado lo delicado de un programa de apoyo industrial ante la acidez de los debates de las últimas décadas, sugiere un ejercicio de apoyo-sanción (pan y palo) que no permita que la corrupción o la insuficiencia vuelvan a expulsar la participación del Estado en torno a su responsabilidad económica. Finalmente y aunado a lo anterior, propone a la transparencia y la rendición de cuentas como acompañantes indispensables en esta tarea.

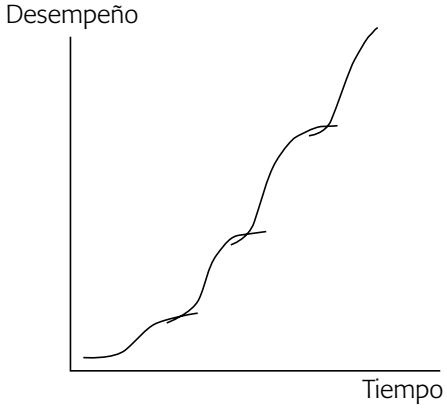
1. Arturo.indd 45 12/17/19 16:33

XI.

Una segunda aproximación dentro del tema del futuro del desarrollo industrial, que no solo es un debate sobre su modernidad y actualización, sino el de su propia validez pública en el siglo XXI, es la que corresponde a la Cuarta Revolución Industrial o Industria 4.0, y ahora junto con ella al conjunto de tecnologías que forman la Revolución Digital de las redes móviles conocidas como de quinta generación o 5G.

Sin hacer caso del debate Estado-Mercado, todavía vigente en la mayoría de los países occidentales; del gran proceso de reordenamiento industrial global a través de la relocalización de la planta industrial hacia Asia del Este por motivos de precarización, ó de teorías académicas que motivaron la cancelación de la preocupación pública por su desarrollo, el avance de la ciencia y la tecnología, enmarcando en la explicación de su crecimiento geométrico de las leyes de Moore y Koomey,[2] ajenas a la teorización banal del desarrollo, emergieron con todo su poder, como en 1750, *revolucionando* o *rompiendo* la lógica económica imperante hasta finales del siglo XX.

Grafica 4
Ley de Moore



Fuente: Ford (2016).

[2] Este proceso de aceleración disruptiva se basa en el avance vertiginoso de la capacidad computacional de gestión de datos a partir de la combinatoria de las leyes de Moore y Koomey. Ambas leyes demuestran que cada 18 meses se duplica el número de transistores en un chip, al tiempo que baja en igual proporción su costo (Moore), y que en el mismo plazo de tiempo la calidad de energía necesaria para que funcione una CPU se reduce a la mitad (Koomey). (Lasalle, 2019, pp. 35-36).

1. Arturo.indd 46 12/17/19 16:33

Esta etapa, una verdadera Revolución Digital más que una Revolución Industrial, que no solo incide en la industria sino en todo el entorno del ser humano, se caracteriza por su dimensión disruptiva y velocidad de cambio.

La magnitud del fenómeno, comenta Lassalle, lo evidencian los años que llevó a diversos desarrollos tecnológicos de la Revolución Industrial alcanzar los cincuenta millones de usuarios y los necesitados para su aplicación de la Revolución Digital. Bajo este comparativo el automóvil tardó 62 años; el teléfono 50; 40 la electricidad; 28 la tarjeta de crédito; 22 la televisión; 18 el cajero automático; 12 la tarjeta de débito, 7 internet; 5 pay pal; 4 YouTube; 3 Facebook; 2 Twitter, etc. (Lassalle, 2019, p. 36).

Como otro elemento de evidencia de lo inédito del cambio, Ford comenta que YouTube se funda en 2005 por tres personas y en menos de dos años Google lo compra por 1650 millones de dólares y al momento de su venta solo contaba con 65 personas, lo cual lo divide y valora en 25 millones de dólares por empleado. En 2012 Facebook compró Instagram por mil millones de dólares y en el momento de su compra solo contaba con 13 personas, lo que equivalía a 77 millones de dólares por trabajador. En 2014 Facebook compró a WhatsApp por 19 mil millones de dólares, contando la última empresa con 55 personas, lo que generó una relación de 345 millones de dólares por empleado, todo lo cual da una doble dimensión del cambio: su alta concentración económica y su muy baja capacidad para generar empleo (Ford, 2016, p. 255). Para abundar en la dimensión de este cambio aparece también el hecho de que casi la mitad de la población del planeta está conectada a internet y un simple Smartphone tiene una capacidad de circulación y procesamiento mayor de datos que los que necesitó la NASA en 1965 para llevar al hombre a la luna; y que en la actualidad, un pequeño empresario en África tiene acceso a más información que la que el presidente Reagan tuvo durante su mandato (Lassalle, 2019, p. 36).

Es evidente que nadie está preparado de manera suficiente para administrar de manera inmediata la ruptura y posibilidades de estos cambios, como también resulta cierto que hay naciones como las de Asia del Este que en materia de industria y manufactura han estado más atentas a su aprovechamiento, lo cual se deduce de sus registros de innovación donde aparece que Asia del Este captó más de dos terceras partes de todas las solicitudes de patentes, marcas y diseños industriales que se presentaron en 2018 en el mundo; donde China, con millón y medio de registros superó, sumados, a los diez registradores en turno; donde Estados Unidos cubrió solo una tercera parte de China con 597 mil registros de patentes; ocupando Japón y Corea un tercero y cuarto lugar que acumulados registran una cantidad similar a la de estados Unidos (520 mil registros), cubriendo los tres países asiáticos más del 60% de la innovación mundial (OMPI, 2019).

1. Arturo.indd 47 12/17/19 16:33

Ante esta nueva era industrial caracterizada todavía por ausencia de respuestas claras y entornos nebulosos sobre el futuro que viene, Leonhard nos sugiere poner atención a 10 de los principales mega cambios del sector, los cuales resume en la siguiente lista:

1. Digitalización
2. Mobilización
3. Visualización
4. Desinintermediación
5. Transformación
6. Inteligización
7. Automatización
8. Virtualización
9. Anticipación y
10. Robotización

(Leonhard, 2016, p. 32)

Por su parte Schwab, como se dijo, nos alerta sobre tres megatendencias a saber: las Físicas, dentro de las que incluye los vehículos autónomos, la impresión 3D, la robótica avanzada y nuevos materiales. En segundo plano ubica a las Digitales en las que de manera estelar incluye el internet de las cosas. Las Biológicas son las terceras con la genética y la biología sintética como sus ramas principales (Schwab, 2017, pp. 30 a 40).

Todas las megatendencias se adivinan de la mayor disrupción en cada uno de sus segmentos, pero poco a poco surge como la reina de todas ellas la tecnología 5G, la cual al ser un facilitador inteligente de las múltiples aplicaciones a través de su mayor velocidad (100 veces más que la 4G), menor latencia (50 veces menos que la tecnología 4G) y mayor capacidad y conectividad masiva, más que una herramienta de alta tecnología se presenta como una divisa de múltiples propósitos de inteligencia económica y geopolítica.

Actualmente nadie puede desarrollar un dibujo acabado de lo que será la Industria 4.0 y la tecnología 5G en las próximas décadas. De ahí el temor y la seducción del tema, pero también su contenido incierto que incidirá directamente en el desarrollo industrial de aquellos que tengan más apego y sensibilidad en su desdoblamiento.

No hay tampoco a la fecha estudio que ignore la amenaza de sus posibles resultados en el tema económico-industrial, en el de la substitución tecnológica, donde cifras ponderadas nos hablan de la pérdida del 40% al 60% del empleo dependiendo de las condiciones de cada nación, a causa de esta nueva Revolución Digital. Para 2025 agrega Lassalle, las tareas que realizarán los robots en las industrias manufactureras ascenderán al 25% promedio de su capacidad (Serrano 2018, p.232; Lassalle, 2019, p. 114).

El tándem humano-máquina, comenta Serrano, podría ser la solución para lidiar con algunas de las tecnologías disruptivas. Agregando que "En cierto modo, las soluciones de equipos hombre-máquina son un tipo de modelo de coo-

1. Arturo.indd 48 12/17/19 16:33

peración de nuevo cuño en el que la biología y tecnología se complementan sinérgicamente sin enfrentarse en un combate a muerte, ni exigir una integración biónica, Esta colaboración biotecnológica podría ser la herramienta central de la economía capitalista en la sociedad tecnológica" (Serrano, 2018, p. 349).

Ser o no ser. Transformarse o quedarse en el camino, es parte de un nuevo dilema de la humanidad y de la industria del siglo XXI. La solución, que no será fácil ante el cúmulo de opciones y caminos que se abren a partir de esta nueva Revolución Digital tendría que irse construyendo como parte de un diálogo global donde se ponga a la humanidad como punto de partida de un mundo mejor.

REFLEXIÓN FINAL

No hay agenda pública o privada que se valore que no incluya como tema central a la Industria 4.0 y a la nueva tecnología 5G. Con poco conocimiento de lo que es y lo que podrá representar en el futuro, un mundo global inmerso en una carrera desbordada lucha en el marco de sus propias circunstancias por no estar ausente, por no quedarse fuera de un proyecto que hoy se presume, definirá las nuevas líneas económicas, políticas y sociales del mundo con base a lo alcanzado en materia de ciencia y tecnología.

¿Celebración o desencanto?, arrebato o prudencia?. ¿Las nuevas tecnologías son la cúspide de un camino civilizatorio exitoso?; o ¿son el inicio de un periodo no explorado de consecuencias inimaginables para el ser humano?. ¿Es el inicio de una sociedad global más equitativa e incluyente?, o ¿es el acelerado apresuramiento de una radicalización sistémica donde los pocos coronarán su hegemonía sobre los muchos? .

¿Es prudente hacer un alto en el camino y medir en lo posible sus efectos positivos y negativos para la humanidad entera?, o ¿debemos formarnos en la línea del apresuramiento y *luchar* por el pedazo que nos toca?.

¿Realmente este debate tiene sentido?, ¿y si esto es así, porque no forma parte de la agenda multilateral de las organizaciones del mundo?

Parecería que solo el expresar este tipo de dudas es motivo de una inocuidad generalizada que no puede entender cómo puede generarse alguna reflexión sobre los avances de la ciencia y la tecnología y sus posibles implicaciones para una sociedad global que junto con la celebración de los triunfos alcanzados en su saber y conocimiento, padece sin soluciones claras los múltiples déficits políticos, económicos y sociales que no ha podido resolver de manera suficiente en los últimos siglos.

Estos dos retos de la humanidad que parten de una misma matriz que es el ser humano, ahora se bifurcan peligrosamente en lo que la celebración de unos puede convertirse en el problema de otros. En lo que el sueño de un mundo

1. Arturo.indd 49 12/17/19 16:33

robotizado puede significar la precarización al infinito de una buena parte de la humanidad.

Evidentemente lo anterior no es un tema de pesimismo contra optimismo ni mucho menos de oposiciones absurdas a los avances de una humanidad que en el marco de sus limitaciones, su ingenio y destreza la han llevado a conseguir estados de desarrollo y bienestar nunca antes soñados.

Tampoco representa una postura que atente contra un progreso inherente a las cualidades científicas de la humanidad.

Debería ser, tal vez, la oportunidad de hacer un alto en el camino y analizar de una manera sensata lo que mejor convenga a la mayor parte de la sociedad global. Poner al ser humano en el centro de la ecuación y de ahí partir hacia un cronograma no de prisas o de carreras hegemónicas, sino de prioridades donde una civilización consciente del momento histórico que enfrenta, en conjugación a su entorno natural, decida razonablemente las mejores opciones de un éxito científico que no puede pertenecer a unos cuantos, en la medida que es resultado de una acumulación de milenios de sabiduría del ser humano en la tierra.

XII. BIBLIOGRAFÍA

Aspe, A. P. (1993). *El camino mexicano de la transformación económica*. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.

Attali, J. (2007). *Breve Historia del Futuro*. Barcelona: Paidós Estado y Sociedad.

Bell, D. (1999). *The Coming of Post-Industrial Society*. USA: Basic Books.

Calva, J. L. (2012). *Nueva estrategia de industrialización*. Ciudad de México: Consejo Nacional Universitario, UNAM.

Cinta, R. G. (1979). *El perfil de México en 1980*. Ciudad de México: Siglo XXI editores.

De Maria y Campos, M. (2012). Una nueva estrategia para la reindustrialización y el desarrollo tecnológico de México. En A. Oropeza (coord.), *México 2012. La responsabilidad del porvenir*. Ciudad de México: IIJ-UNAM.

Ford, M. (2016). *El Ascenso de los robots*. *La amenaza de un futuro sin empleo*. Mexico: Paidós.

Friedman, T. (2006). *La Tierra es Plana*. Madrid: Martínez Roca Ediciones.

Galup, L. (2019). *Big data & política. De los relatos a los datos persuadir en la era de las redes sociales*. Buenos Aires: Penguin Random House.

Hansen, R. (1975). *La política del desarrollo mexicano*. Ciudad de México: Siglo XXI.

Jefrey, F. A. (2007). *Capitalismo global. El trasfondo económico de la historia del siglo XX*. Barcelona: Memoria Crítica.

1. Arturo.indd 50 12/17/19 16:33

Lassalle, J.M. (2019). *Ciberleviatán*. *El colapso de la democracia liberal frente a la revolución digital.* Ed. Arpa.
Leonhard, G. (2016). *Technology vs. Humanity The coming clash between man and machine* .Fast Future Publishing.
Marsh, P. (2012). *The New Indsutrial Revolution*. Londres: Yale University Press.
Macron, E. (2016). *Revolución,* Barcelona: Lince.
Organización Mundial de la Propiedad Intelectual, OMPI. (2019) *Technology Trends 2019. Artificial Intelligence.*
Oropeza García, A. (2012). *México 2012: La responsabilidad del porvenir*. Ciudad de México: Instituto de Investigaciones Jurídicas, UNAM.
——— (2010). *América del Norte en el Siglo XXI*. Ciudad de México: Instituto de Investigaciones Jurídicas, UNAM.
Pisano, G. P. & Shih, W. C. (2012). *Producing Prosperity*. Boston, Massachusetts: Harvard Business Review Press, Thomson Press.
Ridley, M. (2010). *El optimismo racional*. España: Taurus.
Rifkin, J. (2011). *La Tercera Revolución Industrial*. Madrid: Paidós.
Rodrik, D. (2010, 12 de abril). *The Return of Industrial Policy*. Recuperado de Proyect Syndicate de: http://www.project-syndicate.org/commentary/the-return-of-industrial-policy
——— (2004). *Industrial Policies for the Twenty-First Century*. Massachusetts: Harvard University.
Schwab, K. (2017). *La cuarta revolución industrial*, Buenos Aires: Debate.
Sachs, J. (2012). *The Price of civilization*. Londres: Vintage Books.
Serrano, J. (2018). *Un mundo robot.* España: Almuzara.
Stiglitz Joseph, A. C. (2007). *Comercio justo para todos*. Ciudad de México: Taurus.

FUENTES CONSULTADAS

Braidotti, Rosi, (2015).*Lo Posthumano*.España: Gedisa.
Brynjolfsson, E. & McAfee, A. (2011). *Race against the Machine: How the Digital Revolution is Accelerating Innovation, Driving Productivity, and Irreversibly Transforming Employment and the Economy*. Digital Frontier Press.
——— (2014).*The second machine age work progress and prosperity in a time of brilliant technologies*.USA: Norton & Company.
Carr, N. (2014). *Atrapados: Cómo las máquinas se apoderan de nuestras vidas.* Taurus.
DeGrasse, N. & Goldsmith, D.(2015). *Origenes.*México: Crítica.
Ford, M. (2009). *The Lights in the Tunnel: Automation, Accelerating Technology and the Economy of the Future.* CreateSpace Independent Publishing.

1. Arturo.indd 51 12/17/19 16:33

Oppenheimer, A. (2018). i*Sálvese quien pueda! El futuro del trabajo en la era de la automatización.* México: Debate.

Rodriguez, M. (2013). *Historia de la inteligencia. Las neuronas, las computadoras y el fin de la sabiduría* .Buenos Aires: Capital Intelectual.

Kelly, K. (2016). *The inevitable. Understanding the 12 technological forces that will shape our future*. USA: Viking.

Kaku, M. (2019). *El futuro de la humanidad. La colonización de Marte, los viajes interestelares, la inmortalidad y nuestro destino más allá de la tierra*. México Debate.

Kuhn, T. S. (2013). *La estructura de las revoluciones científicas.* México: Fondo de Cultura Económica.

Lane, N. (2015). *Los diez grandes inventos de la evolución.* México: Ariel.

Marcuse, H. (2019). *Tecnología, guerra y fascismo*. Buenos Aires: Godot.

Niro, M. (2018). *El cerebro del futuro: ¿Cambiará la vida moderna nuestra esencia?* México: Paidós.

Serrano, J. (2015). El hombre biónico y otros ensayos sobre tecnología, robots, maquinas y hombres. España:Guadalmazán.

Weinberg, S. (2015). *Explicar el mundo.*México: Taurus.

Wootton, D. (2017). *La invención de la ciencia: Una nueva historia de la revolución científica.* México: Critica.

Rise of the robots. *The Economist* (Marzo-abril 2014). No. 8880.

1. Arturo.indd 52 12/17/19 16:33

La responsabilidad de contar con una política industrial integral

José Luis de la Cruz Gallegos*

SUMARIO

I. Introducción II. ¿Por qué debe crearse una estrategia de política económica industrial de visión integral? III. La necesidad de una visión de política económica integral IV. ¿Qué se entiende por Política Industrial? V. Productividad, inversión productiva y capital humano, elementos centrales de la política industrial VI. Política industrial del siglo XXI VII. Política comercial no es política industrial VIII. Competitividad Industrial Sistémica (CPI) IX. El error de que la mejor política industrial es la que no existe X. Elección de los sectores estratégicos XI. Reflexión final XII. Referencias

I. INTRODUCCIÓN

¿Por qué México no es líder en la época de la Cuarta Revolución Industrial? Porque no aprendió de las lecciones exitosas de la historia, de cómo el desarrollo industrial y la innovación se encuentran vinculados y del papel de la sinergia entre el Estado, el sector privado y la academia. México falló porque confío en que "la mejor política industrial es la que no existe".

Alemania, Corea del Sur, China y Japón son cuatro líderes indiscutibles del progreso tecnológico acumulado a lo largo de los últimos 50 años. Con sus diferencias, y partiendo de distintos grados de desarrollo, tienen un elemento histórico en común: fueron devastados por la guerra, su población sufrió de hambre y a pesar de ello ocupan una posición destacada en la economía mundial gracias al desarrollo tecnológico de su industria.

La economía del conocimiento requiere de personas que cuenten con competencias y habilidades relacionadas con la innovación y el progreso tecnológico. La consolidación de la estabilidad social de México hace prioritario que los ciudadanos sean capaces de integrarse exitosamente a los procesos productivos modernos. Para ello es indispensable elevar el nivel de aprendizaje de los estu-

* Director General del Instituto para el Desarrollo Industrial y el Crecimiento Económico.

2. Jose.indd 53 12/17/19 16:33

diantes mexicanos en ciencias aplicadas, matemáticas, computación y en todas aquellas áreas vinculadas con la innovación tecnológica.

Si bien el sistema educativo debe garantizar lo descrito, también es fundamental contar con una alianza social más amplia. Cuando la educación y la industria se encuentran estrechamente vinculadas, se pueden generar programas de estudio, estrategias de formación de empleo, de creación y aceleramiento de empresas con alto valor agregado que garanticen el incremento de la productividad al mismo tiempo que se eleva el bienestar de la población.

Como se ha mencionado: la educación es parte fundamental en todo lo descrito, sólo a través de un sistema educativo que fortalezca el desarrollo de las competencias y habilidades en las áreas de ciencia y tecnología, se podrá impulsar la generación del capital humano pertinente para competir en la *Era de la Economía del Conocimiento* y en la *Cuarta Revolución Industrial.*

La relación entre la educación y la industria garantiza empleabilidad, aumento de productividad y mayor éxito en la actividad emprendedora de los ciudadanos.

En estos momentos el problema de México es que la ausencia de una verdadera política industrial destruyó al sistema productivo de alta innovación tecnológica que debería dar vida a la Cuarta Revolución Industrial en el país. Si no hay empresas generadoras de valor agregado, líderes en el uso de tecnología, ¿quién va a requerir de profesionistas altamente calificados?

De igual forma, sin un sistema educativo de calidad, de altos estándares, ¿Quién va a generar el capital humano capacitado que se requiere para superar los rezagos socioeconómicos que existen?

El responsable es el Estado: si el gobierno no diseña e implementa una política industrial integral las carencias productivas seguirán prevaleciendo. Pobreza y precarización laboral seguirán siendo parte de las características de México. En la herencia del modelo neoliberal que prevalece en la política económica nacional.

II. ¿POR QUÉ DEBE CREARSE UNA ESTRATEGIA DE POLÍTICA ECONÓMICA INDUSTRIAL DE VISIÓN INTEGRAL?

De acuerdo con el Coneval, en México existen más de 52 millones de personas en situación de pobreza. Más de 60 millones no tienen un ingreso económico que les permita superar las líneas básicas de bienestar.

Según las estadísticas del INEGI, la informalidad ronda el 57% de la población ocupada y representa el 22% del PIB.

Los niveles de competitividad, de acuerdo con el Foro Económico Mundial son inferiores a los prevalecientes en el año 2000: la apertura económica y el retirar el apoyo a las empresas nacionales no favorecieron el desarrollo de la actividad productiva de México.

2. Jose.indd 54 12/17/19 16:33

La productividad total laboral de los factores es inferior a la prevaleciente al cierre del siglo XX.

Entre el 2001 y el 2018 el PIB creció a una tasa promedio anual de únicamente 2.1% y el valor agregado del sector industrial lo hizo a 0.8%: el aumento de las exportaciones se hace en función de las importaciones. La industria mexicana participa marginalmente del comercio internacional: el contenido nacional de las exportaciones de manufactura se ubica en 27%.

¿Cuál es el resultado? Precarización sistémica del sistema productivo y laboral de México:

- Durante el primer año desaparecen 33 de cada 100 negocios. Para el quinto año de operación solo sobreviven 35 de cada 100 negocios, siendo el comercio el de menor éxito, desaparecen 67 de cada 100. En el décimo año la situación es extrema, solo permanecen 25 negocios de los 100 que iniciaron actividades. después de 25 años solo permanecen 11 de cada 100 negocios. La mayor parte en las manufacturas, el sector que tiene el mayor valor agregado.
- La carga regulatoria en México tiene un costo de 3.5% del PIB

El gasto social no tiene la capacidad de solventar estos desequilibrios, únicamente la política industrial y económica integral con visión de desarrollo nacional lo puede hacer.

III. LA NECESIDAD DE UNA VISIÓN DE POLÍTICA ECONÓMICA INTEGRAL

México aún debe encontrar el mecanismo político-económico-social que le permita superar las restricciones que inhiben tanto la creación de una Sociedad de Bienestar como el incremento sostenido de la actividad productiva.

Durante los últimos 40 años México ha vivido un ciclo recurrente de bajo crecimiento, crisis económicas, endeudamiento público y ajustes fiscales que inhiben el progreso económico y social:

- La Década Pérdida (1982-1988) que implicó un crecimiento del PIB per cápita de cero por ciento.
- La recesión de 1995, la segunda más grande después de la Gran Crisis de 1929.
- La recesión y estancamiento económico registrado entre 2001 y 2003.
- El desplazamiento de las exportaciones mexicanas en América del Norte por parte de las de origen chino.

2. Jose.indd 55 12/17/19 16:33

- La crisis del 2009, la segunda más grande desde 1929 y ante la cual, supuestamente, estábamos "blindados" y la cual sería solo un "catarrito".
- El crecimiento del PID de 0.1% registrado durante los primeros siete meses del 2019.

La debilidad crónica descrita no sólo profundizó la desigualdad existente en el país, también propició la adopción y aplicación de un modelo económico exógeno que implicó la negación de la única estrategia que ha logrado generar una expansión sostenible de crecimiento y bienestar, el conocido como *Milagro Mexicano*.

El periodo de alto crecimiento y baja inflación la nación disfrutó durante el *Desarrollo Estabilizador* fue negado desde 1986 y cedió su paso a un proceso de apertura económica de bajo crecimiento (en promedio de únicamente 2.5%), recesiones recurrentes, austeridad fiscal crónica y, al final, a un *Estancamiento Estabilizador* que es insostenible.

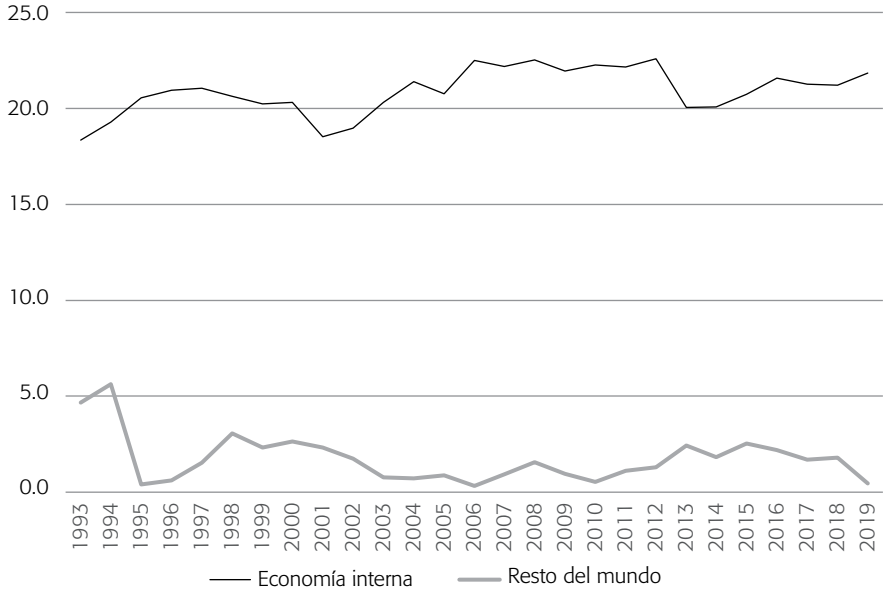
El saldo histórico ha sido de pobreza e inequidad. El bajo crecimiento económico es producto de contradicciones que laceran la lógica del propio modelo económico:

1. Para mantener los fundamentos macroeconómicos de la "estabilidad" y control del endeudamiento se sacrifican los aspectos básicos del crecimiento: inversión productiva, inversión en innovación tecnológica, financiamiento público y esquemas fiscales de fomento productivo.
   a. El ajuste fiscal restrictivo, el manejo de las tasas de interés (resultado de una política monetaria de contracción económica), la reducción del financiamiento de la banca de desarrollo al sector productivo y el incremento en impuestos para satisfacer las necesidades de las finanzas públicas han propiciado la gestación de un modelo de baja productividad que convive con un entorno económico de escaso avance en materia de competitividad.
2. En lo último existe una contradicción esencial: la globalización requiere que las naciones cuenten con empresas altamente productivas y que el gobierno propicie la existencia de un entorno de elevada competitividad, de otra forma no podrán enfrentar la competencia de las empresas extranjeras.
3. Para elevar la productividad de un país se requiere de un sistema educativo de alta calidad, desde el sistema básico hasta el de media superior y superior, en donde se generen los técnicos, ingenieros y profesionistas capaces de innovar en procesos y productos que requiere la manufactura, los servicios y el sector agrícola.
4. De igual forma se requiere de una obsesión por la inversión productiva, no de la especulativa.

2. Jose.indd 56 12/17/19 16:33

5. La inversión nacional es fundamental porque la extranjera solo es un complemento: por su naturaleza y cantidad no tendrá la capacidad de llegar a todos los sectores productivos y a todas las regiones del país.
   a. El Ahorro Bruto del Resto del Mundo no es capaz de sustituir al que la economía interna genera: el financiamiento externo no puede cubrir las necesidades de México, en realidad, durante los últimos 25 años no ha logrado superar el 3% como proporción del PIB (gráfica 1).

Gráfica 1
Ahorro Bruto, proporción del PIB



Fuente: INEGI.

6. Únicamente la inversión permite crear los fundamentos del crecimiento económico. Sin embargo, en México su evolución ha sido errática:
   - El mayor error de política económica que se ha cometido durante los últimos 20 años es el sacrificio de la inversión, Desde el 2001 han transcurrido 74 trimestres:

i. La inversión ha tenido un comportamiento negativo en el 45% de los estos (construcción en el 51% y maquinaria y equipo en el 35%).
ii. La inversión pública no ha sido un factor estable para el crecimiento:
   - Retrocedió en 53% de los trimestres; en construcción la cifra es 57% y en maquinaria y equipo de 54%.

2. Jose.indd 57 12/17/19 16:33

iii. Por el contrario, la inversión privada ha sido el componente promotor del crecimiento económico:
   - Ha registrado un aumento en inversión durante el 70% de los trimestres transcurridos desde el 2001. En maquinaria y equipo lo ha hecho en el 74% de los mismos y en construcción en el 60%.

7. La contradicción es clara: México abrió su economía, pero no ha procurado el crear un entorno propicio para la inversión productiva. Sólo en función de la inversión e innovación se puede incrementar la productividad laboral, la del capital y la conocida como total de los factores. En estos aspectos México no ha avanzado durante los últimos 20 años, a pesar de que es un requerimiento básico del modelo de apertura económico.
8. México se ha conformado con firmar tratados comerciales para buscar importar lo que no se produce internamente. El argumento, equivocado, ha sido que es más barato importar y que el país se debe dedicar a producir los bienes en donde tiene ventajas comparativas.
9. El problema de dicha visión es que implica el sacrificio de las empresas nacionales y del empleo que generan en donde, como se ha mostrado, la inversión extranjera no constituye una parte significativa de la economía.
10. Además, el sector público no ha hecho su tarea. En el tema de competitividad México tiene su mayor deficiencia en las instituciones públicas. De acuerdo con el Foro Económico Mundial, en materia de instituciones, seguridad y corrupción México se encuentra ubicado junto a países africanos y aquellos lacerados por guerras. Sin lugar a duda que esto es un contrasentido para un modelo de apertura económica que requiere la conformación de un marco institucional que promueva la creación del entorno adecuado para la convivencia social y la actividad productiva del sector privado, el que a pesar de todo genera el 85% del valor agregado de la economía nacional.

México no podrá superar los desafíos que enfrenta sin resolver las contradicciones básicas del actual modelo económico. Para hacerlo deberá abandonar la ortodoxia e implementar medidas pragmáticas que impliquen la creación de una **Agenda Mínima por México**. Dicha agenda deberá contener los aspectos esenciales que se deben atender para que el país detenga su inercia de bajo crecimiento, fragmentación e inestabilidad social. En la elaboración de la Agenda Mínima por México deben participar el sector público y privado: ante la disponibilidad limitada de recursos financieros se deben priorizar los proyectos productivos de mayor impacto en materia de crecimiento económico, creación de empleo y fortalecimiento del sistema empresarial. Para que los mismos sean sostenibles deben ser rentables. Por ello la colaboración público-privada debe tener a la eficacia y eficiencia como elementos básicos en la concepción y ejecución. De igual

2. Jose.indd 58 12/17/19 16:33

forma deben estar libres de corrupción y ser transparentes en su administración. La corrupción y falta de eficacia provocaron tanto el quiebre del modelo del **Desarrollo Estabilizador** como el de apertura económica, en donde este último también fue afectado por el dogmatismo, es decir por la obsesión de seguir las directrices teóricas del modelo sin asumir que debió adaptarse a la realidad económica y social de un país que cuenta con los recursos físicos y humanos necesarios para convertirse en una nación desarrollada.

IV. ¿QUÉ SE ENTIENDE POR POLÍTICA INDUSTRIAL?

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial ONUDI):[1]

- La política industrial implica una combinación de estrategias o intervenciones selectivas dirigidas a impulsar actividades o sectores específicos, intervenciones funcionales destinadas a mejorar el funcionamiento de los mercados, y las intervenciones horizontales dirigidas en la promoción de actividades específicas en todos los sectores (Lall y Tuebal, 1998).
- Un aspecto importante de una nueva política industrial es que debe ser parte de una estrategia de desarrollo que se ocupa de mejorar la acumulación de capital y acumulación de conocimiento.
- El término se utiliza para describir medidas gubernamentales destinadas a mejorar la competitividad y la capacidad de las empresas nacionales y la promoción de transformación.

En este sentido debe recordarse que el objetivo es maximizar los beneficios que recibe la economía en su conjunto. Los criterios de intervención del gobierno son propiciar crecimiento económico, aumento de inversión y desarrollo tecnológico.

- No hay ninguna razón para proporcionar apoyo público a una actividad a menos que la actividad tenga el potencial de atraer a otras inversiones complementarias o generar efectos indirectos informativos o tecnológicos. El apoyo público debe estar supeditado a un análisis de este tipo (Rodrik, 2004).

El resultado final es el Fortalecimiento del Sistema Productivo, lo cual tendrá beneficio sobre la sociedad en forma de empleo formal mejor remunerado.

[1] ONUDI y UNTAD (2011), Economic Development in AfricaReport 2011, Fostering Industrial Development in Africa in the New Global Environment.

2. Jose.indd 59 12/17/19 16:33

V. PRODUCTIVIDAD, INVERSIÓN PRODUCTIVA Y CAPITAL HUMANO, ELEMENTOS CENTRALES DE LA POLÍTICA INDUSTRIAL

De lo descrito se deriva que el objetivo de una política industrial es alcanzar un mayor crecimiento económico, representa la consecuencia de incrementar la acumulación de capital físico y humano, de mejorar las condiciones del ecosistema empresarial.

En una economía de mercado y globalizada, lo citado se encuentra vinculado con:

- Aumentar la capacidad productiva de las empresas que operan en el sector. ¿Cómo competir en los mercados globales sin una elevada productividad y capacidad de generar innovación tecnológica?
- Para lograrlo, la productividad se debe desarrollar en tres vertientes: laboral, capital y de productividad total de los factores (PTF).
  - Las condiciones de maximizar la producción o de minimizar los costos en un país se encuentran asociadas a la productividad, representa un resultado básico en economía.
  - El beneficio es para el mercado en su conjunto, el aumento de la productividad y de incrementar los salarios de forma sostenible sin generar presiones inflacionarias. Como resultado se tiene un crecimiento económico vigoroso con estabilidad en precios.
- En este sentido, para la consecución de mejores condiciones, se debe garantizar el incremento de la inversión, constituye el único mecanismo para elevar y modernizar el acervo de capital (maquinaria, equipo y construcción).
- De igual forma, se debe elevar el acervo de conocimiento; es decir, mejorar el nivel de capital humano, particularmente en tecnología y ciencia, representan el pilar de la industria moderna.
  - Esto último tiene una estrecha relación con la educación, la capacitación y un sistema de salud que propicie el desarrollo de las personas.
  - La consecuencia es favorecer una mayor inclusión y movilidad social, potenciada desde una vertiente productiva: los sistemas educativos y de salud, junto con la capacitación, permiten elevar la productividad de la economía y con ello abren la posibilidad de mejorar las condiciones laborales y de remuneración salarial.
- El desarrollo industrial moderno, particularmente en el caso de las manufacturas, requiere de procesos, insumos intermedios, bienes de capital y de creación de bienes finales de mediano y alto contenido tecnológico. Para lograrlo se debe crear el ecosistema adecuado para elevar el progreso tecnológico

2. Jose.indd 60 12/17/19 16:33

endógeno y la transferencia de innovación foránea: la adaptación de la innovación extranjera puede ser una parte del mecanismo inicial que se utilice para acelerar la tecnificación de las empresas.

- No obstante, también se debe mencionar un elemento relevante: para alcanzar un mayor desarrollo industrial, se debe potenciar a todos sus componentes –manufacturas, construcción, minería, electricidad, gas y agua–
  - En otras palabras, se debe tener una visión holística, ello permite vincular a la política industrial con la estrategia general de política económica.
  - De igual forma garantiza que no se confunda a la política industrial con la comercial: algunos de los elementos que conforman el sector industrial no son comerciables, particularmente los vinculados con la construcción.
- La política industrial también se encuentra asociada con la innovación y la productividad total de los factores (PTF). En el siglo XXI, la competencia industrial requiere de una elevada PTF, de una alta innovación tecnológica y el desarrollo del capital humano requerido para ello.
- **Sin una elevada productividad no se puede aspirar a que una empresa pueda competir en el entorno global actual.**
  - Por ello, no solo se trata de poner en la agenda una mayor apertura o la diversificación de las exportaciones, desde el punto de vista de la PTF, es evidente que se debe impulsar la formación de técnicos, ingenieros y científicos, así como de profesionistas en los sectores de servicios y primario capaces de crear mayor valor agregado y de innovar.
  - La vinculación de los programas universitarios y de carrera técnica con las necesidades industriales es fundamental. Ello se deriva de la educación dual y el fomento a la generación de patentes, esto último se debe lograr por medio de una estrecha interacción empresa-universidad.
- La productividad del capital es otro aspecto por considerar. En términos generales, ello depende del estado de la tecnología utilizada. Para países importadores de la misma, como México, en principio parecería que se adquieren máquinas y equipo de este con un nivel tecnológico similar al existente en cualquier lugar del mundo; sin embargo, ¿Se obtienen rendimientos similares?:
  - La calidad del capital humano y del trabajo en general podrían implicar que ello no ocurra.
  - La calidad, costos y cantidad de recursos energéticos disponibles podría ser otro factor que inhiba lo anterior.
  - Las condiciones de diseño técnico e ingeniería de la maquinaria y equipo, así como de los insumos intermedios utilizados no necesariamente corresponden a las características geográficas, o climáticas –por citar algunas de las más relevantes de México– Se requiere de un proceso de adaptación

2. Jose.indd 61 12/17/19 16:33

de la tecnología importada. Lo ideal es producción de maquinaria y equipo de forma endógena.

- Para lograrlo, se debe tener una visión integral de política industrial: incluir todos sus componentes, así como su relación con la política energética, la comercial, la educativa, de salud, la fiscal, etc.

VI. POLÍTICA INDUSTRIAL DEL SIGLO XXI

La Industria 4.0 representa una de las vertientes más relevante en las tendencias globales de la economía. ¿Cómo competir sin elevada productividad y capacidad de generar innovación tecnológica?

Los elementos descritos son la base conceptual de una política industrial para garantizar el desarrollo del sector en el siglo XXI. ¿Por qué hacerlo?:

- La industrialización, una gran fuerza en el cambio estructural, traslada recursos de actividades intensivas en mano de obra a actividades más intensivas en capital y en tecnología.

El desarrollo industrial incrementa la productividad y la capacidad de generar valor agregado, por lo que sin la acumulación de capital humano y mayores niveles de inversión productiva, la mayor parte de las empresas del sector industrial quedarán excluidas de las Cadenas Globales de Valor y las grandes empresas nacionales enfrentarán, con desventaja, la competencia de empresas trasnacionales que si disfrutan de un entorno favorable para desarrollar sus capacidades de innovación y desarrollo tecnológico.

Se debe señalar algo adicional:

- El concepto de lo que hoy se llama Industria 4.0 (La Cuarta Revolución Industrial) tiene en el eje de su implementación a la interacción de los desarrollos en microelectrónica, robótica, mecatrónica, computación, telecomunicaciones, nanotecnología y biotecnología principalmente.
- La implicación es evidente: con un sistema productivo en donde el 95% de las empresas son micronegocios informales, dedicados a comercio al por menor, se deberá implementar una estrategia de política industrial diferenciada por sector y región, bien enfocada, instrumentada por etapas y fundamentada en las empresas que ya tienen capacidades desarrolladas para, en el mediano y largo plazo, construir un tejido empresarial más amplio que incorporé a empresas incubadas y aceleradas durante los primeros años de vigencia de la política industrial. El objetivo es que estas últimas sean capaces de utilizar, pero más importante, más tarde de desarrollar innovación tecnológica.

2. Jose.indd 62 12/17/19 16:33

- Si la política industrial no privilegia el crecimiento económico, es decir la generación de valor agregado y la productividad, el uso de recursos de fomento sería improductivo y desperdiciarían recursos.
  - El desarrollo industrial enfocado al crecimiento económico, elaborado con una visión integral, basado en la innovación y la productividad, que considere las diversas realidades tecnológicas del país y con ello la incidencia en el mercado laboral no genera pérdida de empleo (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, 2016):
- ¿Cómo afecta el cambio tecnológico a la inclusión? Las innovaciones de productos crean nuevas actividades y sectores económicos o aumentan la importancia de los ya existentes, lo que atrae a las personas hacia el mercado laboral. Si el cambio tecnológico ahorra mano de obra, promoverá sectores económicos que son más intensivos en capital y afectará el volumen y la estructura del empleo. Si se orienta a las aptitudes, aumentará la demanda de mano de obra calificada y reducirá la no calificada. A través de primas por calificaciones, el cambio tecnológico afecta la distribución de los ingresos. Y las tecnologías que mejoran las actividades de baja tecnología, anteriormente marginalizadas, pueden aumentar la inclusión.

Para México, que cuenta con distintos grados de desarrollo industrial, no solo a nivel geográfico sino también sectorial, la recomendación es crear un programa de política industrial diferenciado e implementado en distintas etapas. Aquí se debe recordar la lógica de la reflexión de Rodrik ya citada:

- Para la elección de los sectores estratégicos se debe considerar a los que tienen la mayor capacidad de influir en el resto de la economía, para evitar el desperdicio de recursos. Bajo la lógica de la matriz insumo-producto ello implica elegir a los sectores que tienen mayores encadenamientos hacia atrás y hacia adelante, es decir los que cuentan con los efectos multiplicadores más elevados en términos de crecimiento económico y empresas nacionales participantes en la proveeduría de bienes y servicios.

VII. POLÍTICA COMERCIAL NO ES POLÍTICA INDUSTRIAL

Aquí es fundamental enfatizar:

- **No se debe confundir la política industrial con la política comercial**. La diversificación de mercados, la firma de más tratados comerciales no representa la instrumentación de una política industrial.

2. Jose.indd 63 12/17/19 16:33

  - Lo que ha ocurrido: una apertura comercial que carece del fortalecimiento de las capacidades productivas internas provoca la desindustrialización de la economía.
- Joseph Stiglitz (La creación de una sociedad del aprendizaje) abre la posibilidad de afirmar *que el libre comercio puede tener como consecuencia el estancamiento, en tanto que una amplia protección industrial y las intervenciones al tipo de cambio traen consigo beneficios no solo al sector industrial, sino a la economía entera.*
- ¿Por qué?: firmar acuerdos comerciales no garantiza condiciones de equidad entre economías asimétricas, particularmente con aquellas que tienen desarrollos tecnológicos avanzados y con las que reciben fuertes apoyos, financieros, fiscales y de tipo de cambio de sus gobiernos.
- Ello no implica renunciar a la globalización, lo que advierte es que se debe hacer garantizando que las empresas nacionales tienen altos niveles de productividad, basada en innovación tecnológica y capital humano, así como condiciones de equidad en las relaciones comerciales internacionales.
  Adicionalmente hay cuatro elementos a destacar:

1. El comercio internacional es dominado por las manufacturas,[2] que se producen en todo el orbe, pero en donde la propiedad de las marcas, patentes, inversión, estrategia, logística y financiera se encuentra asociada a pocas empresas:
   a. Por ejemplo, de acuerdo con la Oficina de Análisis Económico de Estados Unidos, el 80% de las exportaciones e importaciones entre México y ese país es administrado por menos de 2,000 empresas Más de 350 mil millones de dólares anuales. Solo como punto de referencia: tan solo como referencia, en México hay cerca de 4.5 millones de empresas
2. Los arquitectos de política económica e industrial de las naciones que hoy son los líderes globales en la propiedad de las empresas de manufacturas con mayor influencia en las exportaciones *comprendieron que el comercio internacional sería dominado por medio de grandes empresas innovadoras. La evidencia contemporánea es contundente y les otorga la razón: de acuerdo con el Exporter Dynamics Database del Banco Mundial los mercados de exportación están dominados por grandes empresas y la posibilidad de sobrevivencia de nuevas empresas es muy pequeña. Ana M. Fernandes* líder del proyecto es contundente: ***los gobiernos tradicionalmente se han centrado***

[2] De acuerdo a la Organización Mundial de Comercio 65% del total.

2. Jose.indd 64 12/17/19 16:33

en ayudar a los exportadores a crear nuevos productos y expandirse a nuevos mercados, *pero es posible que deban hacer más para ayudar a las empresas a sobrevivir. Los países asiáticos lo entendieron hace 40 años y por eso aplican una política industrial activa alrededor de sus grandes empresas industriales* (IDIC, 2016).

3. Adicionalmente es relevante considerar que ***solo las empresas más productivas crecen y entran en el mercado de exportación en las naciones más desarrolladas, y estas empresas tienen menos probabilidades de salir*** (Fernandes, Freund, Pierola, 2015). Lo anterior se encuentra asociado con un hecho: *Los países más grandes y los países más ricos tienen más exportadores y más grandes en promedio, con una concentración en el Top 5 de las empresas* (Fernandes, et, al op cit, 2015)

¿Qué implicaciones tiene lo anterior?

- Para competir en los mercados globales, las empresas deben ser altamente productivas, algo que en el siglo XXI sólo se logra con inversiones en maquinaria y equipo, capital humano y con un tamaño mínimo que les permita enfrentar los desafíos de las grandes trasnacionales que dominan los mercados globales.
- A partir de lo anterior, se construyen los encadenamientos productivos: se incuban y aceleran empresas que pueden convertirse en proveedores de las empresas mejor preparadas para la competencia global.
- No cumplir con lo anterior propicia que, en el mejor de los casos, los países se deban conformar con ser bases maquiladoras e integrarse pasivamente a las Cadenas Globales de Valor.

Lo anterior lleva al cuarto aspecto a considerar:

4. La Política Industrial debe propiciar el incremento de la productividad, ello debe conformar su columna vertebral, su objetivo central, de otra manera la asignación de recursos no sería eficiente.
   a. La asignación eficiente de los recursos se debe observar en el crecimiento del valor agregado generado por una zona económica. Mayor valor agregado implica mayor crecimiento económico, es decir generación de riqueza. Lograrlo abre la posibilidad de un aumento en el bienestar de la población a través del empleo formal bien remunerado que ello implica.

Ninguna empresa puede competir en los mercados globales sin productividad y capacidad de generar valor agregado, salvo que sea subsidiada por su gobierno.

2. Jose.indd 65 12/17/19 16:33

VIII. COMPETITIVIDAD INDUSTRIAL SISTÉMICA (CPI)

El CPI generado por ONUDI es la única métrica que se puede vincular con una definición de política industrial enfocada al crecimiento económico y por lo tanto que sea sostenible en la competencia existente en los mercados internacionales.

- El concepto del CPI tiene integrado al valor agregado que genera un país y a su peso relativo en el mundo. La implicación es evidente: se busca ubicar la dimensión productiva de cada nación en el contexto de la industria manufacturera, la evaluada por el CPI.

En la actualidad el CPI consiste en ocho sub-indicadores agrupados en tres dimensiones.

La primera se refiere a la capacidad de los países para producir y exportar manufacturas y es capturado por el Valor Agregado Manufacturero per cápita (MVApc) y por sus Exportaciones de Productos Manufacturados per cápita (MXpc).

La segunda abarca nivel de profundización tecnológica y la modernización de los países. Para generar un proxy de esta dimensión, se han elaborado dos subindicadores compuestos: intensidad de la industrialización y exportación calidad:

- El grado de intensidad de la industrialización se calcula como una agregación lineal de la proporción del Valor Agregado de la manufactura de media y de alta tecnología respecto al Valor Agregado Total de la Manufactura (MHVAsh) y la proporción del Valor Agregado de la Manufactura en el PIB Total (MVAsh).
- La calidad de exportación de los países se obtiene como una agregación lineal de la proporción las Exportaciones de Manufacturas de Media y Alta Tecnología respecto al total de las exportaciones de manufacturas (MHXsh) y la proporción de Exportaciones de Manufacturas respecto a las exportaciones totales (MXsh).
- La tercera dimensión de la competitividad implica el impacto de los países en la manufactura mundial, tanto en términos de su participación en el Valor Agregado Mundial de las Manufacturas (ImWMVA) y en el Comercio Mundial de Manufacturas (ImWMT).

Como se puede apreciar, el concepto de competitividad industrial se basa en la capacidad de generar valor agregado, el pilar del crecimiento económico. Cualquier nación que aspire a mejorar sus condiciones de competitividad industrial debe impulsar los pilares de la productividad: inversión y desarrollo del capital humano. Para ello debe asignar recursos de manera eficaz.

2. Jose.indd 66 12/17/19 16:33

Ello se encuentra alineado con la perspectiva de ONUDI referente a que:

- "*... el desarrollo productivo es la fuerza motriz de la aplicación de nuevas tecnologías a la producción y la fuente y el agente más importante de la innovación tecnológica; crea nuevas aptitudes y actitudes ante el trabajo, cataliza el cambio institucional y genera capacidades empresariales modernas*".

A partir de ello la ONUDI es contundente:

- "*la evaluación comparativa del rendimiento industrial nacional es crucial para muchas economías, independientemente de su nivel de desarrollo*".

La industrialización implica un mayor nivel de tecnificación de los procesos productivos y la utilización del progreso tecnológico para la transformación de las materias primas en bienes de consumo, bienes intermedios de producción y, aún, en la construcción de bienes de capital.

IX. EL ERROR DE QUE LA MEJOR POLÍTICA INDUSTRIAL ES LA QUE NO EXISTE

La desindustrialización prematura sofoca el potencial de desarrollo económico al limitar la aplicación de tecnología a la producción y ***al generar actividades de servicios informales y de baja productividad (ONUDI).***

¿Cuál es la relevancia de lo anterior? La desindustrialización provoca rezago tecnológico y aumento en la informalidad, la implementación de una política industrial debe contener elementos que permitan revertir el daño estructural.

Además, es indispensable considerar los recursos energéticos: la formulación de una política industrial se encuentra interrelacionada con el acceso a recursos naturales y energéticos:

- La tecnología y los bienes de capital son los principales motores del crecimiento en las manufacturas y del crecimiento agregado tanto en países desarrollados como en desarrollo, aunque en estos últimos el uso de la energía y de los recursos naturales afecta el crecimiento en industrias de tecnología media y baja.

En este sentido la política industrial requiere de una política energética que garantice:

2. Jose.indd 67 12/17/19 16:33

- Acceso a energéticos y sus derivados de alta calidad y bajo costo. Forma parte de los encadenamientos productivos necesarios para incrementar la productividad del sector industrial. Lo anterior es esencial para las industrias de baja y mediano valor agregado, así como para las que conforman la columna vertebral de la industria, las que son proveedoras de los insumos básicos que entrarán a los procesos de transformación industrial.

X. ELECCIÓN DE LOS SECTORES ESTRATÉGICOS

La definición de sectores estratégicos se genera a partir de los beneficios que su actividad propicia en toda la cadena productiva, es decir en el conjunto de la economía: su demanda de insumos y bienes de capital impacta positivamente a los productores de dichos bienes, y su oferta de productos es utilizada por otras empresas en sus procesos.

La elección de estos sectores motores de la economía garantiza que los recursos asignados, físicos, financieros y humanos, tendrán los mejores rendimientos, se hará una asignación eficiente. Tener otros criterios de selección puede provocar resultados improductivos, desperdicio de recursos y una reducción de la productividad de la economía.

Para que un sector productivo pueda ser considerado como estratégico debe tener encadenamientos productivos; es decir, vínculos solidos con el resto de la economía: las empresas que privilegian la utilización de insumos importados tienen poca relación con proveedores nacionales. Difícilmente pueden considerarse como estratégicos porque su producción tiene un escaso contenido nacional. Si además no tienen capacidad transformadora, son maquiladoras, pueden alcanzar altas ventas que no inciden en la creación de valor agregado y por lo tanto, no propician mayor crecimiento económico, solamente son parte del flujo económico y no generan los acervos de inversión y capital humano que se requiere en la industria del siglo XXI:

- *La elección del sector tiene relevancia para el crecimiento económico y el cambio estructural, dado que las oportunidades tecnológicas entre ellos varían significativamente* (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, 2016).

Por otro lado, lograr la sustitución de las importaciones tampoco es una tarea fácil, ya que si bien existe una demanda por esos productos ello no necesariamente implica que se tenga una producción interna de los mismos. En el corto plazo sólo se puede sustituir lo que se crea en el país. Así, observar la balanza comercial para identificar en donde existe una alta importación de bienes in-

2. Jose.indd 68 12/17/19 16:33

dustriales debe complementarse con el análisis de las empresas existentes para garantizar que exista la producción interna equivalente. Si ello ocurre, se pueden crear las políticas adecuadas para elevar la productividad de las empresas nacionales, aumentar su capacidad de producción y calidad de sus productos con el objetivo de que puedan competir globalmente. Esto implica un proceso de desarrollo de mediano y largo plazo.

Por ello la política industrial debe ser diferenciada: en el corto plazo los sectores estratégicos son los adecuados para obtener crecimiento económico rápido. Los productores nacionales de bienes que pueden competir con las importaciones son un segundo segmento por desarrollar, se debe acelerar su proceso. Los resultados serán de mediano plazo. Incubar empresas para que se integren a los procesos productivos requiere de un mayor tiempo. Los resultados de la política serán de mediano y largo plazo.

Si lugar a dudas que la política industrial debe contemplar a más de un sector productivo:

- *La diversificación en las manufacturas puede ayudar a conseguir índices de crecimiento promedio rápido, periodos de crecimiento más largos y menos volatilidad en el crecimiento, para así sostener el crecimiento en el largo plazo.* (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, 2016)

XI. REFLEXIÓN FINAL

El fundamentalismo no debe ser un componente de la política económica, particularmente en materia de comercio exterior y de política industrial. Durante los últimos 50 años, a nivel global, la ortodoxia económica no ha generado un país desarrollado. La región más productiva y competitiva del mundo, Asia del Este, es la mejor muestra de que la fórmula del éxito reside en modelos heterodoxos, basados en las realidades de cada nación.

Las naciones del Pacífico asiático son un ejemplo de cómo el sistema productivo de empresa privada convive con una política económica de Estado, colaboran para propiciar bienestar en función de un sistema productivo privado, con visión global y apoyado por medidas gubernamentales. El gobierno no tiene miedo de intervenir, y el sector privado sabe que esa participación será en su beneficio, no hay un divorcio. Los paradigmas crean las divisiones artificiales, la realidad así lo muestra.

La innovación global lo hace evidente: el progreso tecnológico tiene sus polos más dinámicos en una parte de Europa, particularmente en Alemania, Estados Unidos y en el Este asiático. Como ha demostrado Mazzucato en su libro *El Estado Emprendedor*, no se podría comprender el avance en innovación y progreso

2. Jose.indd 69 12/17/19 16:33

tecnológico, sin la intervención del Estado. Ahí radica el éxito de China, Corea del Sur, Japón, Vietnam y Singapur. Gracias a ello Japón, Corea del Sur y Vietnam lograron superar los estragos de la guerra, mientras que China y Singapur dejaron el atraso social y tecnológico para convertirse en polos de desarrollo.

Como también lo ha mostrado Dani Rodrik, en los últimos 30 años, los países en desarrollo que aplicaron las recomendaciones de política económica ortodoxa son los que menos han crecido, México no es la excepción.

El país apostó todo a la apertura económica sin fortalecer su base productiva, una estrategia que, además, no ha incidido favorablemente en incrementar su participación en el mercado global: en 1990 México tenía el 1.2% de las exportaciones globales, hoy su participación apenas excede el 2%. China, una economía de Estado Capitalista, elevó su penetración de 2.1% a 13%.

El beneficio de lo anterior llega en forma de inversiones y empleo, representa el resultado de invertir para crecer, de apostar a exportar más de lo que se compra al exterior, fortaleciendo los encadenamientos productivos internos y creando grandes empresas que pueden competir con las trasnacionales que dominan las Cadenas Globales de Valor. Grandes empresas nacionales para competir con grandes empresas del extranjero. Todo ello complementado con una creciente proveeduría nacional de empresas de menor tamaño, altamente competitivas, innovadoras y generadoras de alto valor agregado.

El resultado en materia de valor agregado es contundente, aun dejando de lado el clásico ejemplo de China. Entre 1990 y el 2015, la tasa de crecimiento del valor agregado en las manufacturas de Vietnam aumentó a una tasa promedio anual de 10%, mientras que la de México al 2.5%, ello a pesar de que abrió su economía y se convirtió en una nación exportadora. ¿Cómo puede explicarse la paradoja de exportar más sin que eso se encuentre respaldado por mayor valor agregado? Muy simple, se denomina maquila: exportar importaciones.

Corea del Sur es otro ejemplo de éxito, en el mismo periodo citado su valor agregado se elevó a una tasa del 6.8%. Singapur alcanzó un 5.8%, Indonesia 4.9% y aún Rusia, con todo y el colapso histórico de la Unión Soviética, contabilizó 3%.

Todas las naciones citadas participan en el comercio exterior, pero no lo hacen bajo una política de fundamentalismo económico, han creado un modelo adecuado y pertinente para su realidad productiva y social, en donde el Estado y las empresas privadas tienen una convergencia: garantizar que exista crecimiento y rentabilidad económica.

México debe reconsiderar el camino, la historia ya permite demostrar que su modelo económico de apertura no es eficaz. En 1991 China tenía el 2.6% del valor agregado de la manufactura global, México el 1.3%. Para el 2015 el país asiático concentró el 24% y México el 1.8%. El mensaje es claro, vender más al

2. Jose.indd 70 12/17/19 16:33

exterior no se traduce en crecimiento económico cuando se hace con una base maquiladora y en función de la ruptura de las cadenas productivas.

Los mejores registros de crecimiento económico son alcanzados por países innovadores que generan valor agregado, el comercio es solo la parte final. Además, la mejor forma de proteger al consumidor es creando empleo formal productivo, para que tenga un ingreso económico. Ello sólo se logra con empresas del sector privado que a su vez sean productivas. Comprar barato al exterior solo es una medida de corto plazo, una estrategia que terminará provocando más problemas que soluciones, México es la mejor muestra.

XII. REFERENCIAS

Fernandes, A., Freund, C.y Pierola, M. (2015), *Exporter Behavior, Country Size and Stage of Development Evidence from the Exporter Dynamics Database*. Policy Research Working Paper 7452.

IDIC, (2016*) México: una economía en eterna industrialización*. Boletín de Análisis Estratégico, Vol. 1, No. 3.

Lall S and Teubal M (1998). *Market-stimulating technology policies in developing countries: a framework with examples from East Asia*. World Development. 26(8): 1369-1385.

Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (2016) Informe sobre el Desarrollo Industrial 2016.

ONUDI y UNTAD (2011), *Economic Development in AfricaReport 2011*, Fostering Industrial Development in Africa in the New Global Environment.

Rodrik, D. (2004), *Industrial Policy for theTwenty-First Century*, Harvard University.

2. Jose.indd 71 12/17/19 16:33

La industria automotriz en México: turbulencia tecno-económica y geografía en vilo

Jordy Micheli*

SUMARIO

I. Introducción: post-crisis y revolución tecnológica de la industria automotriz
II. México frente a la turbulencia tecnológica y económica
III. México: geografía en vilo
IV. Conclusión
V. Referencias

I. INTRODUCCIÓN: POST-CRISIS Y REVOLUCIÓN TECNOLÓGICA DE LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

La industria automotriz vive a nivel mundial la primera fase de la reconversión tecnológica digital y del cambio de paradigma energético, apuntando a una revolución de la movilidad. La visión del futuro, sin embargo, no puede hacer a un lado las condiciones presentes que se significan por un estancamiento del mercado que puede generar efectos importantes en países como el nuestro, cuya presencia como espacio de producción global lo ubica como el cuarto exportador mundial de vehículos, con 3.2 millones de unidades vendidas a mercados foráneos en el año 2018[1]. Estas nuevas condiciones de estancamiento remiten forzosamente a recordar que aún se vive en la fase de post-crisis de la industria automotriz, situación lejana a una normalización del mercado.

* El autor es profesor investigador del Departamento de Economía en la UAM Azcapotzalco. Correo electrónico: jordy.micheli@gmail.com. Página personal: jordymicheli.com

[1] En términos de distribución del mercado externo de México, Estados Unidos representó el 74.4 %, Canadá el 7.2 %, Alemania 4.4%, Brasil 2.3 y Colombia 1.5%, por citar a los destinos más importantes, durante el año de 2018.

3. Jordy.indd 73 12/17/19 16:34

Las firmas automotrices que habían tenido una rápida expansión a inicios del siglo XXI, sufrieron la crisis financiera de 2008-2009. En el año 2008, la producción mundial de vehículos descendió 3.5% y sin embargo el de 2009 fue un peor año, con un descenso de 12.4 %. Las empresas tuvieron que hacer frente a la caída de la demanda administrando su falta de liquidez –casos concretos fueron las "grandes" de EE UU– reduciendo sus costos de producción y buscando nuevas estrategias de mercado. Se abrió la fase que dura hasta nuestros días y que sugiero denominar como la post-crisis. Las tendencias innovadoras tecnológicas y organizativas que se abrían paso desde inicios de siglo, han continuado su camino y ya es común hablar del nuevo aunque pequeño polo de acumulación dentro de la industria automotriz que está basado en producción de autos con autonomía, conectividad y/o con nuevas energías propulsoras. La fuerza transformadora de una oleada de innovaciones y nuevos actores económicos es aún un hilo delgado en el denso tejido de producción y mercados tradicionales de la industria.

La crisis de 2008-2009 aceleró el cambio en dos componentes estructurales del mercado mundial: la jerarquía de las empresas dominantes y la jerarquía de países. Ambas mutaciones se gestan durante la actual post-crisis y tienen relevancia para la comprensión de procesos contemporáneos en México. Las recuperaciones del mercado fueron importantes: México fue el país que más creció en su producción automotriz durante la post crisis (2010-2017) con una tasa media de 8.2 %, China le siguió con una tasa de 6.4 %. Estados Unidos con 5.4% e India con 4.3%. Fueron crecimientos importantes en donde además se reconfiguró el oligopolio automotriz con GM abandonando su espacio en la terna dominante y dejando solos a VW y Toyota en el liderazgo de los mercados globales[2]. El Cuadro 1 muestra de qué manera las velocidades de crecimiento de la producción de México han sido significativas y superiores al resto de los países, año por año, desde 2010 y hasta 2018. La participación de México en la producción mundial de vehículos pasó de 3.01% en 2010 a 4.28 en 2018.

[2] En la post-crisis se ha producido una modificación en el grupo puntero de la jerarquía mundial de las firmas. En el año 2012, Toyota y Volkswagen están claramente en la primera posición, con volúmenes de producción muy semejantes, en tanto que la distancia entre ellos dos y GM se acentúa, y no solamente la firma estadunidense está en tercer lugar sino que está siendo alcanzada por la coreana Hyundai. Debe tenerse en perspectiva que para 2007, GM había producido 9.35 millones de vehículos, el máximo en su historia de 77 años como líder mundial, y que Toyota le seguía con 8.35 millones. Ese fue el último año de hegemonía de GM, ya que a partir de 2008 Toyota se había colocado en primera posición.

3. Jordy.indd 74 12/17/19 16:34

Cuadro 1
Tasa media de crecimiento (TMC) de la producción de vehículos automotrices por país (2010-2017)

Países de mayor dinamismo		*Países de menor dinamismo*	
País	*TMC (%)*	*País*	*TMC (%)*
México	8.2	Japón	0.1
China	6.8	Corea del Sur.	-0.5
Estados Unidos	5.4	Alemania	-0.6
India	4.3	Brasil	-3.2

Fuente: cálculos con base en OICA (2017).

Esta sola circunstancia marca el reto que tiene México: no perder el paso en el gran protagonismo que posee como un espacio de competitividad para las empresas del sector en la fase de post-crisis, pero al mismo tiempo adquirir las condiciones para la futura competencia en la fase de reconversión tecnológica que marcará los procesos de producción y consumo de la industria en los años por venir. Cabe señalar que no existe una división tajante entre ambas fases del desarrollo socio-técnico de la industria, y que la turbulencia e incertidumbres que se observan[3] son más bien una señal de que están entrelazadas una fase de producción que aún mantiene la el modelo tecnológico y productivo tradicional y otro en el que las innovaciones penetran pero con cautela.

La transformación del automóvil como objeto de consumo de masas y producido bajo el paradigma del toyotismo es reivindicada por Freyssenet (2009), autor para quien la introducción de nuevas tecnologías, modelos de negocios y jugadores, así como la importancia creciente de mercados emergentes, crean un cambio de paradigma y ofrecen una segunda revolución de la industria automotriz en un movimiento largo se gesta desde finales del siglo XX. Pero en la post-crisis la electromovilidad y la digitalización del automóvil han ganado terreno gracias a la constelación de innovaciones en el llamado ecosistema digital y la

[3] Un ejemplo de esta nueva situación es el siguiente, en el cual se reflejan los procesos shumpeterianos de las fases de transición capitalistas. En 2018, General Motors (GM) anunció el futuro cierre de siete plantas (4 en EEUU, una en Canadá y otra en Corea del Sur) que producen el modelo Cruze, automóvil emblemático de GM del cual desde su lanzamiento en el año 2008 se habían vendido 3.8 millones de unidades. El motivo de este cierre masivo es una reubicación de recursos de la empresa para poder emprender la transformación tecnológica hacia la motorización eléctrica y competir contra TESLA y el resto de los productores. GM planea que los recortes productivos brinden ahorros de 6 mil millones de dólares hacia fines del año 2020, los que serán utilizados para duplicar los recursos para investigación y producción de vehículos eléctricos y también autónomos.

3. Jordy.indd 75 12/17/19 16:34

fuerza irruptiva de las nuevas multinacionales de la información y comunicación han brindado un nuevo consenso que especula no sobre el "cómo" sino sobre el "cuándo" ocurrirá la revolución del automóvil, como lo postula por ejemplo Attias (2017).

Se hace notar que si la manera de trazar el derrotero de la revolución tecnológica en curso toma como punto de referencia al auto eléctrico, es relevante que las ventas actuales de este nuevo vehículo de electromovilidad se comportan de modo dinámico: 76% de incremento en 2018 respecto a 2017, con China como gran consumidor, con el 61 % de ese mercado de autos eléctricos y con la estadunidense TESLA como el primer vendedor, seguido de la china BAIC. La evolución de los tres primeros años del mercado global de autos eléctricos se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2
Venta mundial de automóviles eléctricos (2016-2018)

Año	*2016*	*2017*	*2018*
Ventas (unidades,000)	391	727	1, 261

Fuente: Bekker, H, (2019).

Sin embargo, las ventas de 2018 representaron solo el 1.68 % de las ventas globales de la industria automotriz y suponiendo que se mantenga la tasa de los tres años (2016 a 2018), harán falta entre 18 y 19 años para que se vendan autos eléctricos en una cantidad equivalente a la mitad del mercado actual de autos tradicionales. Puede ocurrir antes, pero ese punto histórico sería sin duda el momento de quiebre de un modelo de automoción basado en energía proveniente de hidrocarburos.

La próxima década se vislumbra decisiva para las distintas marcas históricas y las que van a hacer su aparición (Carrillo, 2019). Las ventas en esta industria ya han dejado de crecer con las tendencias del pasado y parece haberse producido una estabilización del mercado global en 79 millones de autos. China será decisiva en la producción, innovación y consumo mundiales de la industria

II. MÉXICO FRENTE A LA TURBULENCIA TECNOLÓGICA Y ECONÓMICA

No cabe duda que la post-crisis ha tenido como actor relevante a México y ha acentuado la gran paradoja del desarrollo industrial de México en el siglo XXI, caracterizada por los beneficios de contar con una industria edificada por empresas multinacionales bajo el impulso del mercado estadunidense, y los peligros de la

3. Jordy.indd 76 12/17/19 16:34

dependencia extrema de esta fuente de crecimiento de empleos a las estrategias y necesidades de las empresas y las presiones sobre ese mercado estadunidense.

El crecimiento de la industria automotriz en nuestro país desde 1995 ha sido sostenido y diversificado (Alvarez, Carrillo y González, 2104; Covarrubias, 2014), salvo en la coyuntura de la crisis de 2008-2009. Tras esa crisis, la producción de automóviles y de autopartes creció a una tasa de 12.3% anual (tasa media anual del PIB del sector en 2010-2017), cifra que cuadriplica prácticamente al crecimiento anual del PIB de manufacturas que fue de 3.4% y de la economía en su conjunto, de 3.0%. Por ello, la industria automotriz representa ya el 3.7% del PIB nacional en el 2017 y con un total de 824 mil personas laborando, aporta el 22.2% del empleo manufacturero. Como sector exportador, esta industria generó en 2017 más divisas que la industria petrolera, las remesas y el turismo juntos (26.5% del total de divisas de la primera, contra el 15.4% acumulado de los tres siguientes) y la evolución del diferencial comercial de esta industria ha sido positiva y creciente, con un superávit que pasó de 18.7 a 70.7 miles de millones de dólares de 2009 a 2017. En este escenario cabe señalar que 83.2% del total exportado tiene como destino a EE UU y de ese país proviene el 53.6% del total importado.

Gracias a un crecimiento excepcional de las inversiones de las empresas y de la alta productividad de la fuerza de trabajo mexicana, en México se producen más vehículos que Canadá, Brasil o España y casi el mismo número que Corea. El país pude ser calificado como plataforma exportadora universal, ya que prácticamente todas las empresas de la cadena global de valor de la industria tienen alguna sede en México. Regiones completas en México son productoras de automóviles, camiones, motores y autopartes que se dirigen básicamente a Estados Unidos pero también al resto del mundo.

La industria automotriz ha sido motivo de una política de fomento por parte del Estado mexicano mediante una promoción activa para atraer inversión extranjera directa que desarrolle capacidades de producción en territorio mexicano. Las ventajas de localización y de costos salariales se han visto acompañadas así de importantes iniciativas para generar un ambiente competitivo en México para la atracción de capitales.

En el año 2003 se promulgó el "Decreto para el apoyo de la competitividad de la industria automotriz terminal y el impulso al desarrollo del mercado interno de automóviles". En él se estipulan como objetivos centrales: la apertura y desregulación promovida desde el Estado, en particular la Secretaría de Economía, para promover la competitividad, facilidades administrativas, medidas de apoyo vía adquisiciones nacionales por parte de los gobiernos estatales, municipales o a nivel federal, y el uso de apoyos o ventajas para promover nuevas inversiones

3. Jordy.indd 77 12/17/19 16:34

productivas o su ampliación condicionados a la capacitación o el empleo de trabajadores mexicanos, a que se lleve a cabo investigación y desarrollo en el país.

Otro instrumento mediante el cual el Estado fortaleció su papel de promotor de la inversión extranjera es el que apuntala a los clústers mediante el "Programa Estratégico de la Industria Automotriz 2012-2020", incorporado en el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012 (PND, 2007). En este Programa se refuerza lo establecido en el Decreto de 2003, haciendo énfasis en el papel que tienen los gobiernos locales para estimular una relación más estrecha entre la academia y la industria, generando programas educativos que permitan aumentar el número de profesionales y técnicos calificados, en el entorno de la operación de los clústers.

Los clústers regionales aparecen así como organizaciones empresariales territoriales que con apoyo gubernamental federal y local establecen una coordinación que les permite el cabildeo y el establecimiento de ventajas competitivas, el aprovechamiento de ventajas comparativas y el control de condiciones de empleo y salariales homogéneos. Los resultados regionales han sido desiguales y si bien el número oficial de estos agrupamientos empresariales es de doce, los de mayor relevancia por su nivel de desarrollo son los de La Laguna, Guanajuato, Querétaro, Estado de México y Nuevo León.

La expansión de la industria automotriz en México ha sido un fenómeno analizado y reconocido por el importante beneficio social del incremento del empleo, a la par de su creciente grado de tecnificación y en sentido inverso, el creciente deterioro de las condiciones laborales. En un estudio reciente que analiza estas tendencias divergentes entre las condiciones avanzadas de tecnologías productivas y organizativas en que se desempeñan los trabajadores y su nivel de bienestar, básicamente el salario, se muestra que en esta industria en México las plantas nuevas pagan salarios menores a sus trabajadores, y que inclusive dentro de las mismas plantas los trabajadores de reciente contratación están impedidos de tener las mismas condiciones de ingresos salariales y beneficios indirectos que los de mayor antigüedad (Bensusán, Carrillo y Micheli, 2017). La desconexión entre desarrollo del empleo y desarrollo social de la fuerza de trabajo al interior de esta industria arroja ya una señal sobre lo que cabe esperar en términos de las estructuras económicas dentro de las regiones que albergan a la industrial

III. MÉXICO: GEOGRAFÍA EN VILO

La gran presencia de la industria automotriz en el modelo de industrialización seguido por el país desde la apertura comercial e integración al TLCAN en diversas regiones del país invita a considerar su efecto en el desarrollo regional. La industria ha sido prolijamente analizada desde la academia tanto en su faceta sectorial

3. Jordy.indd 78 12/17/19 16:34

como en desde la perspectiva local o de plantas, pero en pocas ocasiones se ha prestado atención a su interrelación con el desarrollo regional.

LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ Y LA REESTRUCTURACIÓN REGIONAL

En términos regionales, es significativa la reestructuración que se lleva a cabo entre industria manufacturera y terciarización de los procesos económicos con uso de trabajo especializado y basado en TIC, en un proceso conocido como terciarización avanzada (Micheli y Valle, 2017; Micheli 2019). Los datos agregados de los 12 estados orientados a la producción automotriz y que concentran la mayor parte del valor de la producción en esa industria[4], señalan el predominio del dinamismo del terciario avanzado y la debilidad de la industria manufacturera no automotriz.

En el cuadro 3 se presenta un panorama de la evolución de la industria automotriz frente al resto tanto de la manufactura como de los servicios avanzados, para contrastar la velocidad de variación de tres variables indicativas del desarrollo: la producción, las remuneraciones por persona ocupada y el empleo. Es decir, se abordan tres sectores y tres indicadores del desarrollo de los mismos.

El interés está centrado en el dinamismo de los indicadores del desarrollo, medido a través de la tasa media de crecimiento bajo la idea de que su observación permite entender la dirección que adquiere el cambio estructural en los estados automotrices. Un cambio estructural que se pudiera calificar de desarrollo con calidad consistiría en cambios positivos en materia de remuneraciones y de empleo que acompañaran a los crecimientos en la producción. Igualmente, un proceso de industrialización equilibrado consistiría en crecimientos tanto en el sector automotriz como en el resto del aparato manufacturero.

En materia de producción, los datos muestran que en el grupo de entidades estudiadas, la producción automotriz ha crecido más rápidamente que la producción del resto de la manufactura pero los servicios avanzados han crecido con una velocidad del doble que la de la manufactura. Ello coloca al sector automotriz y a los servicios avanzados como protagonistas del crecimiento económico en los estados considerados. En cambio, el resto de las manufacturas carece del dinamismo de estos dos sectores.

[4] Hay 12 estados que han sido actores del desarrollo de la industria, contabilizando en conjunto entre el 99.7 % del valor agregado bruto nacional en 1998 al 92.4 % en el año 2013: Aguascalientes, Coahuila, Chihuahua, Estado de México, Guanajuato, Morelos, Nuevo León, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Sonora y Tamaulipas

3. Jordy.indd 79 12/17/19 16:34

Cuadro 3
Crecimientos de la producción, remuneración y empleo en producción automotriz, manufactura no automotriz por estado (2003-2013)

	Automotriz			*Manufactura no automotriz*			*Servicios Avanzados*		
Estado	*VACB*	*Remuneración por persona ocupada*	*Personal ocupado total*	*VACB*	*Remuneración por persona ocupada*	*Personal ocupado total*	*VACB*	*Remuneración por persona ocupada*	*Personal ocupado total*
Puebla	20.7	5.1	11.3	-7.6	-5.3	0.1	2.6	-1.5	5.5
Morelos	13.7	-0.1	9.4	-4.5	-0.9	1.7	9.1	0.5	6.0
Aguascalientes	13.5	-3.3	8.8	-4.6	0.1	1.5	7.7	-2.9	5.2
Guanajuato	11.0	0.3	12.3	0.9	-1.2	3.9	13.5	0.4	8.2
Nuevo León	8.1	-2.2	4.7	0.3	-3.0	2.4	9.3	-1.9	7.0
Coahuila	8.1	-1.5	6.5	4.1	-1.6	1.5	4.1	-0.6	5.8
Sonora	7.5	-1.2	6.3	7.3	-1.8	2.7	2.9	-2.7	6.8
San Luis Potosí	2.9	-3.6	9.5	4.2	-1.1	2.5	7.4	-1.0	5.9
Tamaulipas	-1.7	-1.1	2.9	1.5	-0.3	0.4	1.9	2.3	2.0
Chihuahua	-3.9	-1.4	-2.6	-3.7	-1.5	2.7	1.6	1.8	1.8
Querétaro	-3.9	-6.2	7.6	4.3	-2.7	5.3	9.6	-1.7	8.3
México	-8.6	-6.6	-0.8	0.3	-2.8	1.8	3.8	-3.6	2.5
Total	4.1	-2.0	3.3	0.7	-2.1	2.2	7.7	-1.1	5.4

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2004; 2009; 2014), tomado de Micheli (2019).
Nota: VACB y Remuneraciones en valores constantes de 2008.

En cuanto a remuneraciones, se observa que las remuneraciones medias en los tres sectores productivos han tenido variación negativa, es decir, han retrocedido en términos reales (utilizando precios de 2008). En las manufacturas automotrices y no automotrices esa variación negativa ha sido casi similar, en tanto que el retroceso salarial en los servicios avanzados ha sido menor.

3. Jordy.indd 80 12/17/19 16:34

Por último, en cuanto al empleo, se evidencia que éste , en la manufactura automotriz y no automotriz tienen un crecimiento parecido, pero de nueva cuenta el sector de servicios avanzados muestra un crecimiento mayor.

Una conclusión de este escenario general es que en los estados automotrices la manufactura no automotriz tiene un desempeño de menor calidad que la manufactura automotriz, y a su vez ésta es de menor calidad que la de servicios avanzados. Esto es, se trata de un cuadro de avance superior de la terciarización avanzada y de un desequilibrio de la manufactura a favor de la industria automotriz.

LA GEOGRAFÍA DE LA INVERSIÓN EXTRANJERA EN INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

La nueva geografía económica mexicana que ha emergido desde la transición del modelo de sustitución de importaciones al de economía abierta se gesta bajo una importante transformación mundial desde las 2 últimas décadas del siglo XX. Los cambios en la geografía industrial mexicana son causa y consecuencia de la globalización. En efecto "las transformaciones que más se asocian a la globalización económica son las que tienen que ver con el crecimiento de las exportaciones, el aumento de la IED, y la reubicación espacial de mucha producción manufacturera y, en consecuencia, de mucho comercio hacia Asia" (Parnreiter, 2018, p. 296). En México, como lo han señalado ya varios estudios, el Tratado de Libre Comercio de América del Norte, ha sido el articulador institucional de la reestructuración industrial y la creación de una nueva geografía industrial (Delgadillo, 2008; Parnreiter, 2018, entre otros autores). La industria automotriz es decisiva por el gran peso que ha ganado en estados o en regiones y por tanto una mirada a esta industria con la intención de prever escenarios y orientar acciones para el desarrollo económico, requiere abordar la dimensión del territorio, lo que se hace a continuación con la escala estatal.

La inversión extranjera directa (IED) acumulada destinada a la industria automotriz (la cual es representada por Fabricación de equipo de transporte) en México ha sido de 62, 804.1 millones de dólares en el período de 1999 a 2017 y creció con una tasa media de crecimiento de 5.7% anual, el doble de la tasa de crecimiento de la inversión foránea en las manufacturas. El monto de IED en la industria automotriz representó el 25.3% de la IED acumulada total para la industria manufacturera. Vale la pena comparar a la inversión en esta industria con la que se ha llevado a cabo en los dos sectores que le siguen en importancia.

En efecto, el mayor porcentaje de IED se concentra en los siguientes 3 subsectores de la manufactura: Fabricación de equipo de transporte con el 25.3% ya mencionado; Bebidas y tabaco con 16.8% y Química con 13.3%, con lo que el total de estos tres sectores punteros es de 55.4% de la IED acumulada en el

3. Jordy.indd 81 12/17/19 16:34

periodo 1999 -2017. En el cuadro 4 siguiente se muestra la comparación entre el monto y dinamismo de la IED en automotriz (considerada la principal dentro de la denominación Fabricación de equipo de transporte) , contra la IED en los dos siguientes sectores que le siguen en importancia.

Cuadro 4
Inversión Extranjera Directa (acumulada 1999-2017)

Sector, Subsector	*Acumulado (millones de dólares)*	*Participación (%)*	*Tasa Media de Crecimiento (%)*
Manufactura	248,433.1	100.0	2.6
Fabricación de equipo de transporte	62,804.1	25.3	5.7
Bebidas y del tabaco	41,771.2	16.8	5.0
Química	33,109.2	13.3	-1.9

Fuente: Elaboración propia con base en Secretaria de Economía, sin fecha.

Ahora bien, la dimensión geográfica de la IED en estos tres sectores debe ser traída a cuenta. Como se mostrará, son tres sectores y también tres geografías. Esto marca el carácter tan especial de la industria automotriz, que se ha diversificado territorialmente, y ello es un factor relevante para comprender el papel relevante de la industria en el plano de la geografía económica de México.

Por lo que hace a la distribución geográfica de la IED en la industria automotriz, en el cuadro siguiente se muestra cuáles son los principales estados, que en conjunto reciben el 86.3 % de los flujos de capital productivo.

Cuadro 5
La IED en Fabricación de equipo de transporte por principales estados (1999-2017)

Entidad	*Monto (millones de dólares)*	*Participación (%)*	*TMC (%)*
Chihuahua	11,793.3	18.8	5.3
Coahuila	5,966.5	9.5	10.0
México	5,581.6	8.9	6.0
Puebla	5,171.3	8.2	21.9
Guanajuato	5,116.7	8.1	6.9
Aguascalientes	4,981.6	7.9	1.8
Nuevo León	4,836.2	7.7	8.4

Continúa...

3. Jordy.indd 82 12/17/19 16:34

Entidad	*Monto (millones de dólares)*	*Participación (%)*	*TMC (%)*
Querétaro	3,000.1	4.8	11.5
Sonora	2,618.4	4.2	12.8
San Luis Potosí	2,570.5	4.1	12.6
Baja California	2,569.1	4.1	5.2

Fuente: Elaboración propia con base en Secretaria de Economía, sin fecha.

Figura 1
Distribución de la IED por estados

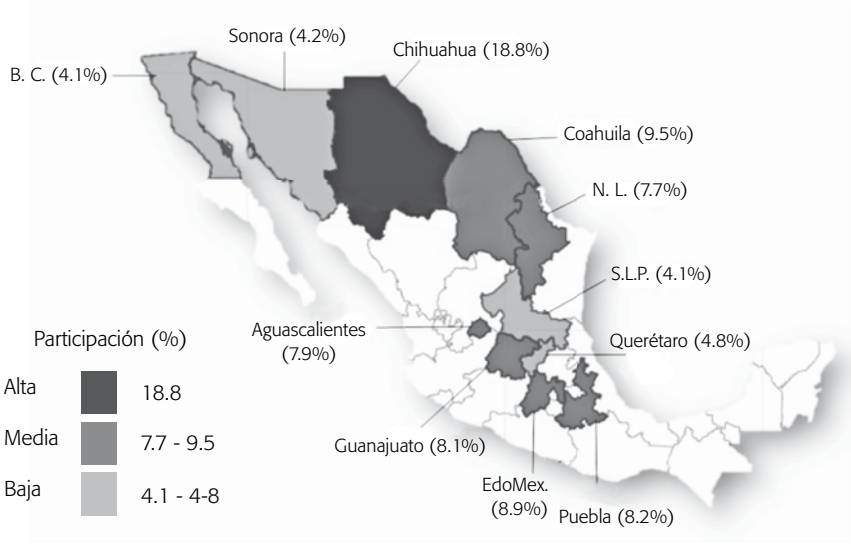
Fuente: Elaboración propia con base en Secretaria de Economía, sin fecha.

3. Jordy.indd 83 12/17/19 16:34

Como se advierte, sobresale el estado de Chihuahua con 18.8%, una cantidad que equivale a los dos siguientes estados sumados, que son Coahuila con 9.5% y Estado de México, con 8.9%. Sin embargo, si nos atenemos a la velocidad con la cual creció la IED, sin duda debe mencionarse a Puebla en primer lugar, con una TMC de 21.9%, cifra que cuatriplica la velocidad de la IED nacional en materia automotriz.

La figura 2 siguiente permite una mirada sintética sobre la dispersión geográfica de la inversión extranjera en la industria automotriz.

Figura 2
Geografía de la IED en equipo de transporte



Fuente: Elaboración propia con base en Secretaria de Economía, sin fecha.

Este marco de la inversión en industria automotriz nos conduce a plantearnos una pregunta sobre la evolución futura de la producción derivada de esta inversión. El dato acumulado de inversión encierra procesos de diferente cronología y circunstancias desiguales en torno a las condiciones de la competencia en que se encuentran inmersas cada una de las firmas y, por tanto, de la capacidad utilizada y perspectivas de inversión.

Tomemos tres ejemplos regionales para ilustrar este principio: la dinámica general de la industria automotriz a nivel nacional encierra desigualdades regionales que deben ser consideradas para integrar la geografía a una visión estratégica de la industria.

3. Jordy.indd 84 12/17/19 16:34

En Sonora (entidad que representa 4.2 % de la IED automotriz acumulada) la planta de estampado y ensamblado de Ford en la ciudad de Hermosillo data del año de 1986 y fue pionera en el primer proceso de reestructuración técnica y geográfica de la industria en México. Sin embargo, su presencia en el auge de la industria durante los años del siglo XXI no ha sido relevante. Diversas etapas de inversión para el acondicionamiento de producción de modelos emblemáticos como el Tracer, el Escort y el Focus y el Fusión han marcado la trayectoria tecnológica de la planta. En los años de auge de la industria, la multinacional guió su inversión hacia ampliar su capacidad en la planta de motores de Chihuahua, la apertura de una planta de transmisiones en Guanajuato y anunció instalar una planta para ensamblar el Focus en San Luis Potosí. En el año 2016, bajas del mercado y presiones proteccionistas de Trump influyeron para cancelar el proyecto de San Luis Potosí y decidir aumentar la capacidad en Hermosillo para el Focus en una nueva versión, amén de otros modelos de la gama de compactos. Sin embargo, la caída del mercado para los modelos producidos en Hermosillo derrumbaron la producción, el empleo y la cadena de proveeduría local en 2017, confirmando un ciclo depresivo para esta planta desde hace una década y afectando el desempeño del PIB estatal (Bracamonte y Méndez, 2019).

Por otra parte, tenemos Aguascalientes (estado que representa 7.9% de la IED acumulada en la industria). En los años 80 del siglo pasado, la planta de Nissan se convirtió en pilar de la economía estatal. Su inversión relevante fue la planta de ensamblado de autos completos, llamada A1, inaugurada en el año de 1994, coincidente con la puesta en marcha del TLCAN. Una siguiente etapa concluyó en 2012 con la segunda planta de ensamblado , A2. En el año de 2017, ambas plantas produjeron poco más de medio millón de vehículos. En 2015 comenzó la edificación de la planta de Compas, empresa que es una alianza estratégica entre Nissan y Daimler/ Mercedes-Benz para producir autos de la gama premium. Desde 2010 se han construido 7 nuevos parques industriales para la cadena de valor de estas plantas de ensamblado y se han identificado un total de 270 empresas que conforman un conglomerado que nutre a las tres plantas de ensamblado. No resulta sorprendente entonces, el gran peso de esta industria en el producto estatal: 19% del PIB del estado y 68 % del PIB manufacturero estatal, en el año de 2016 (Camacho, 2019).

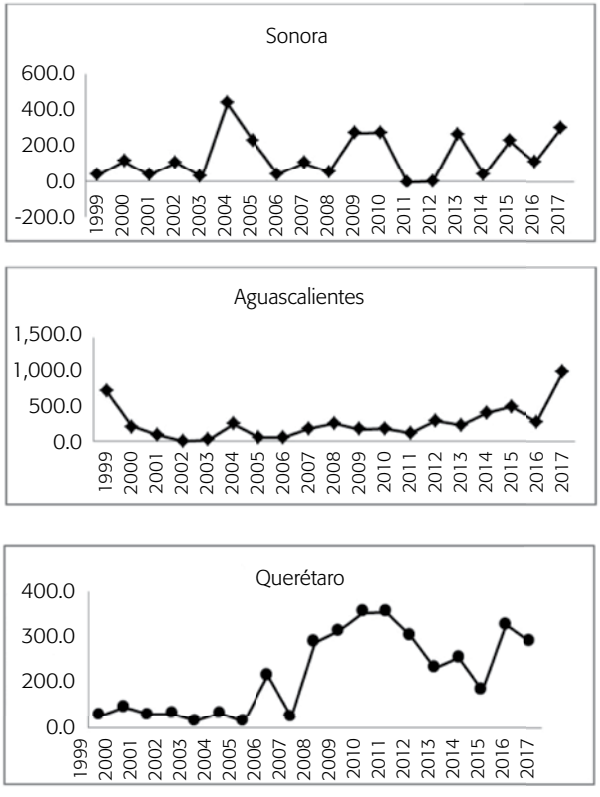
Un tercer caso digno de mencionar para ilustrar el comportamiento desigual de las economías regionales centradas en esta industria es el de Querétaro (con 4.8% de la IED automotriz acumulada) cuya actividad en la industria es produciendo autopartes, con cerca de 100 empresas para ese mercado de proveeduría en materia de apariencia interior, frenado y sistema de dirección. El mercado entonces es básicamente internacional, ya que 80 % de las autopartes producidas en México son para la exportación hacia armadoras situadas en Estados Unidos.

3. Jordy.indd 85 12/17/19 16:34

Este conjunto de empresas, que son Tier 1 y 2, tienen una relación directa con las transformaciones tecnológicas en curso que cambian el paradigma de movilidad ya, que deben atender directamente a plantas que ensamblan automóviles que incorporan innovaciones de todo tipo. Por tanto, desde la perspectiva de la reconversión energética y de la digitalización, la economía regional puede ser actor dentro de las transiciones tecnológicas requeridas. Es, así, una región menos expuesta que las dos mencionadas anteriormente (Guerrero, 2019).

En la Figura 1 se ilustra de modo esquemático la relación del estado con la IED automotriz.

Figura 3
Evolución de la IED automotriz en tres estados



Fuente: elaboración propia con base en Secretaria de Economía, sin fecha.

Las tres gráficas muestran de modo estilizado lo que se describió de modo sintético acerca de las circunstancias desiguales del estado de competencia en

3. Jordy.indd 86 12/17/19 16:34

que se encuentran inmersas cada una de las firmas. Sonora muestra diversas inyecciones de capital extranjero con variaciones acentuadas pero un techo de poco más de 200 millones de dólares, salvo un pico en el año de 2004. Aguascalientes muestra una tendencia ascendente desde 2006. Querétaro ha tenido un importante ciclo desde 2007.

¿Y CÓMO SE ADVIERTE EL FUTURO?

Las inversiones que se anuncian son de cerca de 10 mil millones de dólares (MMD) en 4 años: Se espera que nuevas inversiones por 5 MMD sean más diversificadas, con montos más pequeños y para fines de proveeduría. A ello se sumarán en los siguientes 4 años otros 5 MMD por parte de las armadoras[5].

Son cantidades significativamente menores a los flujos de capital productivo del pasado reciente: de 2007 a 2017, entraron al país bajo el concepto de IED en industria automotriz un total de 45,111 MMD, lo cual da un promedio de 4,101 MMD por año. Si miramos únicamente los 4 últimos años (2014 a 2017) tenemos un acumulado de 25,531 MDD en IED de la industria automotriz, un promedio anual de 6,383 MMD. No perdamos de vista el papel importante que juega la IED automotriz en el total de la IED en manufacturas: ha representado el 27.2 % en 2007-2017, y en estos últimos 4 años ya mencionados, ha representado 37.6% de la IED en manufactura.

Es decir, si miramos más de cerca, y prácticamente el sexenio de Enrique Peña Nieto, lo que tenemos es una previsión de una caída en IED destinada al sector automotriz, simplemente porque el ciclo de grandes traslados de capital para construir y beneficiarse de la plataforma exportadora ya terminó, aunado a que ya están en el país prácticamente todas las firmas productoras de autos, con excepción de las chinas, y los pronósticos de crecimiento del sector en el T-MEC son francamente muy limitados. La mirada geográfica que se ha sugerido apunta hacia los efectos desiguales que se prevén para México en la fase de post-crisis.

IV. CONCLUSIÓN

La industria automotriz en México se acerca a 4 retos de una trascendencia que pueden genera cambios en la configuración industrial y su geografía económica de nuestro país:

[5] El papel de la inversión china, pequeña pero dinámica, es analizado por Arteaga, Marcial et al. (2019).

3. Jordy.indd 87 12/17/19 16:34

1) se han unido las presiones proteccionistas del gobierno de EEUU con 2) una reforma laboral de futuros efectos profundos y con 3) las tendencias tecnológicas del nuevo paradigma digital y eléctrico. El cuarto reto está presente, empezó como una simple desaceleración del ritmo alto de crecimiento de la etapa de post crisis (la crisis se manifestó en 2007-2008) y hoy es un franco y declarado estancamiento.

De cuarto reto cabe señalar que desde 2016 llevamos 4 años (incluyendo la previsión para 2109) en que las ventas se han estabilizado entre 76 y 79 millones de unidades vendidas a nivel mundial. Basta mirar las noticias de la coyuntura de este año que corre para constatar que los mercados, incluyendo al mexicano por supuesto, están estancados (Statista, 2019). Eso significa necesariamente un freno a la expansión de la producción en muchos países y obviamente en varias firmas. El año, pasado, de 2018, la producción mexicana de vehículos sólo creció 0.1% respecto al año anterior. Fue el crecimiento más bajo desde 2010, año de inicio de la post-crisis automotriz. Crecimiento bajo cierto, pero superior al -1.1% que registró la economía mundial del automóvil

México debe empezar a preparar sus instituciones, su estrategia industrial y tecnológica y su capacidad de reacción geopolítica ante hechos que vendrán como resultado del cuádruple reto. Ya no puede esperar las cantidades de inversión extranjera de las dos décadas últimas; debe apurar la creación de sus capacidades de innovación y educativas para unirse al dinamismo tecnológico de esta industria; es ilusorio pensar que no habrán cierres y relocalizaciones de plantas en México por más que hasta ahora no las haya habido; el gran pendiente del desarrollo industrial sigue vivo pues el empleo en el sector automotriz y de autopartes debe significar mejores niveles de bienestar para sus trabajadores.

La dimensión regional de la industria automotriz en un aspecto relevante para un análisis significativo de la misma. Se trata de una industria extendida en varios estados de la República, con algunos de ellos caracterizados por su producción terminal y otros más bien por su producción de autopartes. Esta diferenciación es importante porque en fases expansivas de la industria, como la que ha vivido México, el crecimiento de las inversiones y de la actividad productiva se generaliza de modo regional, sin embargo, cuando la actividad y las inversiones se retraen, las especializaciones regionales y las políticas de las empresas provocan resultados desiguales en las regiones

La industria automotriz en México tiene, de facto, un papel geoestratégico y la visualización de su desarrollo futuro requiere un esfuerzo colectivo y con las mejores bases de conocimiento, esfuerzo que debe ser promovido, si no es que encabezado, y apoyado por el Estado mexicano. Es patente la necesidad de saber negociar con las empresas multinacionales, situación que en el dogma neoliberal

3. Jordy.indd 88 12/17/19 16:34

suena a herejía y augurio de catástrofes pero que nos forma parte sino de las responsabilidades económicas de todo Estado moderno.

V. REFERENCIAS

Alvarez, L., Carrillo,J. González, M.L. (2014). *El auge de la industria automotriz en México en siglo XXI. Reestructuración y Catching Up.* México: UNAM, FCA Publishing.

Arteaga, A., Marcial A., Ortiz, S. (2019) "El T MEC y las perspectivas en México de la industria automotriz china", en Comercio Exterior , Nueva Época, Número 18, Abril-Junio pp.17-21 , http://www.revistacomercioexterior.com/articulo.php?id=844&t=el-t-mec-y-las-perspectivas-en-mexico-de-la-industria-automotriz-china

Attias, Danielle (2017) *The Automobile Revolution: Towards a New Electro Mobility Paradigm* , Springer, Chamevo

Bensusán, Graciela., Jordy Micheli y Jorge Carrillo. 2017. ¿Está realmente la innovación asociada con la mejora social? ¿Qué podemos aprender de los estudios de caso?, En ¿Es posible innovar y mejorar laboralmente? Estudio de trayectorias de empresas multinacionales en México, compilado por Graciela Bensusán, Jordy Micheli y Jorge

Carrillo. México: Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, 627-690.

Bekker, H. (2019) "2018 International: Worldwide Car Sales and Global Market Analysis" disponible en https://www.best-selling-cars.com/global/2018-full-year-international-worldwide-car-sales-and-global-market-analysis/

Bracamonte A. y Méndes R.(2019) Ford Hermosillo: un caso atípico en el sector automotor mexicano,en *Comercio Exterior*, Nueva Época, Número 18, Abril-Junio, pp. 31- 35, disponible en http://www.revistacomercioexterior.com/articulo.php?id=847&t=ford-hermosillo-un-caso-atipico-en-el-sector-automotor-mexicano

Camacho, F. (2019) El automóvil y la especialización económica de Aguascalientes en *Comercio Exterior*, Nueva Época, Número 18, Abril-Junio, pp. 31- 35, disponible en http://www.revistacomercioexterior.com/articulo.php?id=848&t=el-automovil-y-la-especializacion-economica-de-aguascalientes

Carrillo, J. (2019), Tecnologías disruptivas en la industria automotriz", en Comercio Exterior, Nueva Época, Número 18, Abril-Junio pp. 13-16 http://www.revistacomercioexterior.com/articulo.php?id=858&t=tecnologias-disruptivas-en-la-industria-automotriz

Covarrubias, A. (2014). *Explosión de la Industria Automotriz en México: De sus encadenamientos actuales a su potencial transformador.* México: Fundación Friedrich Ebert.

3. Jordy.indd 89 12/17/19 16:34

Delgadillo J. (2008). Desigualdades territoriales en México derivadas del tratado de libre comercio de América del Norte. EURE (Santiago), 34(101). Recuperado el 2 de julio del 2019 de: https://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612008000100004 Freyssenet, M. (2009), *The Second Automobile Revolution, Trajectories of the World Carmakers in the XXI Century*, N.Y,. Palgrave Macmillan.

Guerrero, C. (2019), "De la manufactura a la ingeniería", en Comercio Exterior , Nueva Época, Número 18, Abril-Junio, pp. 41-44, disponible en http://www.revistacomercioexterior.com/articulo.php?id=859&t=de-la-manufactura-a-la-ingenieria

INEGI (2004). Censo Económico 2004, recuperado de <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/saic/?evento=2004>

INEGI (2009). Censo Económico 2009, recuperado de <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/saic/?evento=2009>

INEGI (2014). Censo Económico 2014, recuperado de http://www.beta.inegi.org.mx/app/saic/

Micheli, J. (2019) Cambio estructural en los estados especializados en producción automotriz de México, 1998-2013, en Región y Sociedad, El Colegio de Sonora, Vol. 31, https://doi.org/10.22198/rys2019/31/1110

Micheli, J. y E. Valle (2017) "Los servicios avanzados y la industria automotriz en México. Una propuesta para evaluar el desarrollo local en el periodo 1998-2013" , en Martínez, Adriana y Carrillo Jorge (coordinadores), *Innovación, redes de colaboración y sostenibilidad. Retos de la relocalización de la industria automotriz,* México, UNAM, El Colegio de Sonora, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, pp. 83-102.

Parnreiter, Christof. 2018. Geografía Económica: una introducción contemporánea, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Economía.

Secretaria de Economía, sin fecha, "Información estadística de flujos de IED hacia México por entidad federativa desde 1999" , Gob. Mx, Datos Abiertos.

https://datos.gob.mx/busca/dataset/informacion-estadistica-de-la-inversion-extranjera-directa, consulta: 25/septiembre/2018.

Statista (2019) , "Number of Cars Sold WorldeWide from 1990 to 2019", disponible en https://www.statista.com/statistics/200002/international-car-sales-since-1990, revisado 30 de agosto de 2019.

3. Jordy.indd 90 12/17/19 16:34

CAPÍTULO II
LA INDUSTRIA DEL FUTURO. LA AGENDA PENDIENTE

4. Victor.indd 91 12/17/19 16:34

4. Victor.indd 92 12/17/19 16:34

La erradicación de la pobreza en México. Una propuesta de financiamiento para vincular a la ciencia, política, industria y sociedad en torno a un problema social

Víctor Del Río*

SUMARIO

I. Introducción II. Falta de una estrategia de comunicación con actores clave III. Falta de vinculación con la Industria IV. Falta de una estrategia de promoción y comunicación de la ciencia V. Falta de una estrategia para demostrar que la ciencia, de mano con la Industria, puedan responder al reto de solucionar los mayores problemas económicos y sociales de México VI. Propuesta de un modelo de políticas públicas para vincular la ciencia, la tecnología y la industria en la solución de problemas nacionales VII. Conclusiones y Recomendaciones

SUMARIO

I. INTRODUCCIÓN

Los pocos puentes que actualmente existen entre la ciencia, la política, la industria y la sociedad se están derrumbando y hay que actuar decididamente para que esto no siga sucediendo, hay que impedir que lleguemos a un punto sin retorno. La ciencia y la industria han sido históricamente aliados naturales, sus fortunas están íntimamente entrelazadas. Si queremos que México relance con éxito su proyecto Industrial en el Siglo XXI es indispensable demostrar que, la ciencia junto con la industria, tienen la capacidad de trabajar conjuntamente para resolver un problema social de interés nacional. El éxito de esta colaboración generaría la credibilidad necesaria ante la sociedad para incursionar en la solución de otros problemas de carácter nacional que lleven a consolidar esta unión.

* El Dr. Víctor Del Rio es un experto internacional en el área de estrategia de grandes proyectos científicos. Es Coordinador del Comité Internacional de Estrategia y Ciencia – iniciativa Sincrotrón mexicano en Hidalgo, Senior Research Industrial Fellow de la Universidad RMIT e investigador honorario de la Universidad Latrobe, ambas ubicadas en Australia.

4. Victor.indd 93 12/17/19 16:34

El contexto actual es desfavorable tanto para la ciencia como la industria. Por un lado, la ciencia está bajo ataque en diversos flancos. Este ataque genera desafíos que la ciencia no había enfrentado desde el renacimiento. Pero esta vez los dogmas religiosos no son el único obstáculo. Estos nuevos desafíos surgen de un rompimiento casi total de su relación con grupos de poder de la sociedad. En parte esto es un resultado del aislamiento de la ciencia, que poco a poco se ha alienado del resto de la sociedad. La ciencia ha seguido su propio camino sin tener la necesidad de formar amistades, asumiendo que el amor y reconocimiento de la sociedad vendrían de manera automática, repitiendo mil veces el postulado que sus éxitos "por sí solos" *serían suficientes*. Y ahora vivimos las consecuencias de esta posición adoptada por la ciencia, que muchos calificarían como una con tintes de arrogancia.

Por otra parte, y desde una perspectiva histórica, la Industria no ha invertido en investigación y desarrollo. Y cuando invierte, lo hace tímidamente o acompañada de incentivos gubernamentales en este campo, pues se tiene la creencia de que la investigación y desarrollo no añade valor a la empresa ni incrementa su nivel de competitividad. A su vez, el hábito de no invertir ha creado la percepción de que los problemas generados por la falta de tecnología se resuelven adquiriéndola en el extranjero.

En los próximos párrafos hago un análisis del papel de la ciencia como uno de los protagonistas de la calidad de vida en el mundo, su liga con la industria y un nuevo modelo de financiamiento para revigorizar sus relaciones en el marco de un proyecto social prioritario en México y en el mundo: la reducción del nivel de pobreza en México (este es también el primer objetivo de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas[1]).

LA EVIDENCIA

Es indiscutible que la ciencia y sus descendientes directos: la tecnología y la innovación (conocidos con la abreviación CIT), han sido contribuyentes claves para el desarrollo de la humanidad y del incremento en los niveles de calidad de vida de la población en el mundo. Analicemos su impacto en la expectativa de vida de la población y sus niveles de salud.

[1] Web: https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld.

4. Victor.indd 94 12/17/19 16:34

EXPECTATIVA DE VIDA

La expectativa de vida de la población en el mundo, de acuerdo con Pinker,[2] usando información de Our World in Data,[3] se ha duplicado al pasar de entre 30 y 35 años en 1780 a casi 70 en el año 2018. Respecto de México, la expectativa de vida era de solo 32 años en 1873, siendo actualmente de 75.2 años, de acuerdo con cifras del INEGI para el año 2016.[4] El incremento a la expectativa de vida es el resultado de varios factores, entre os que destacan el aumento en la producción y acceso a los alimentos y el éxito en el combate de las enfermedades transmitidas por mosquitos, que tradicionalmente tenían asociadas las mayores tasas de mortalidad.

Es evidente que la ciencia, la innovación y la tecnología para la producción de alimentos han sido instrumentos eficaces que han permitieron evitar que las predicciones de Malthus se hiciesen realidad. Malthus predijo en 1798[5] que el crecimiento exponencial incontrolable de la población en el mundo tendría un resultado apocalíptico, en donde las hambrunas generalizadas serian inevitables y que estas servirían como un medio natural para mantener el control de la población. Sin embargo, el uso de los fertilizantes y las técnicas innovadoras de producción de alimentos, como la llamada revolución verde creada por Norman Ernest Borlaug (quien ganó el Premio Nobel en 1970) evitaron este dantesco escenario. Las técnicas de Borlaug han salvado al menos 1 billón de vidas en el mundo. De hecho, en 1860 se estimaban que morían 1400 personas por cada 100 mil habitantes globalmente a consecuencia de la malnutrición. Para el periodo 2010- 2016 (exceptuando en ciertas partes del África), estas cifras llegaron a casi cero (técnicamente representa a menos de 20 personas por cada 100,000 habitantes). En México el periódico la Jornada[6] reportó que 432 personas fallecieron en el año 2014 por desnutrición. Una terrible cifra en pleno Siglo XXI. Sin embargo, estas cifras, aunque denotan toda una tragedia humana, están muy por debajo de la mortalidad que se experimentó en el país por hambruna en siglos y décadas anteriores. Por ejemplo, en 1915, miles de personas en la ciudad de México murieron por falta de alimentos, carencia que fue ocasionada por la revolución armada por la que atravesaba el país. Otros estudios reportan miles de

[2] Pinker, Steven (20180, Enlightenment Now, Penguin Random House (Science). United Kingdom, pp. 54.

[3] Web: Our World in Data, https://ourworldindata.org/life-expectancy, 04092019.

[4] Web: http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/esperanza.aspx?tema=P.

[5] Malthus, T. (1798). An Essay on the Principle of Population. Chapter VII, p. 61[1].

[6] La Jornada, https://www.jornada.com.mx/2016/11/10/sociedad/042n1soc.

4. Victor.indd 95 12/17/19 16:34

personas que fallecieron de hambre durante la época de la colonia de 1785-86[7] por no tener métodos de producción agropecuaria que pudiesen sobreponerse a las sequias, a las inundaciones y a las plagas.

El otro factor que impacta en la expectativa de vida y el crecimiento de la población son las enfermedades. De acuerdo con Woodward et al.,[8] se ha estimado que más de 5 billones de personas se han salvado a través de descubrimientos científicos hechos por únicamente 100 investigadores. Los descubrimientos de un número igual de cientificos han incrementado exponencialmente la calidad de vida de la población en el mundo. Entre los primeros se encuentran Abdel Wolman y Linn Enslow quienes han salvado a 177 millones de personas a través de su descubrimiento para clorar el agua, otros como William Foege quien a través de su estrategia para erradicar la viruela ha salvado a 131 millones de personas o Karl Landsteiner quien al identificar y clasificar los diferentes tipos de sangre ha salvado a mas de 1 billón de personas. Otros científicos además de salvar vidas han incidido directamente en la calidad de vida de la población, entre ellos Jonas Salk, al descubrir la vacuna contra el polio o Luis Pasteur con su vacuna contra la rabia o Alexander Fleming con el descubrimiento de la penicilina que salvo cientos de miles de vidas durante la segunda guerra mundial. Esta fue toda una historia de éxito que fue el resultado de la estrecha vinculación entre el gobierno, la ciencia y la industria en la producción masiva de penicilina para que llegara a los heridos en el campo de batalla durante la Segunda Guerra mundial.[9]

Hay científicos mexicanos que han jugado un gran papel en la noble tarea de salvar vidas. El químico Luis Miramontes inventó la píldora anticonceptiva en 1951 evitando con ella la posibilidad de que los hijos(as) no deseados vinieran al mundo y reduciendo substancialmente la presión demográfica globalmente (y curiosamente, también el índice de criminalidad). Los métodos de diagnósticos de amibiasis invasiva inventados por María del Socorro Flores Gonzales han salvado más de 100,000 vidas.

La evidencia es clara, *sin* los avances científicos y tecnológicos ocurridos en los últimos 3 siglos tendríamos un mundo muy diferente y más triste en el que vivimos actualmente y un México mucho más pobre y con una menor calidad

[7] Souto-Manteco, M (S/F). El Hambre En La Nueva España Del Siglo XVIII, Instituto Mora, UNAM.

[8] Woodward, B. Shurkin J., Gordon, D. (2009). Scientists greater than Einstein; the biggest lifesavers of the twentieth century. Publisher: Quill.

[9] Neushul, P. (1993) Science, Government and the Mass Production of Penicillin. Journal of the History of Medicine and Allied Sciences, Volume 48, Issue 4, October 1993, Pages 371–395, https://doi.org/10.1093/jhmas/48.4.371Published: 01 October 1993.

4. Victor.indd 96 12/17/19 16:34

de vida. Pero estos grandes avances no son reconocidos por la sociedad en su conjunto, dilema que genera las siguientes interrogantes:

> Si la ciencia ha tenido tantos resultados positivos, ¿porque actualmente es atacada y vilificada por los Gobiernos, la Industria y la Sociedad en muchos países?, entre ellos los Estados Unidos, Brasil y México.
>
> ¿Cuáles son las circunstancias que han llevado a que la sociedad acepte con tanta facilidad las críticas a la ciencia hechas por los políticos y la falta de interés de los líderes de la industria para invertir en ella?

Sería fácil usar etiquetas como la de culpar solamente a los gobiernos populistas o a la ignorancia en ciertos segmentos de la población para justificar la situación de crisis en la que se encuentra la ciencia, pero un análisis serio requiere evaluar el papel que ha jugado la ciencia y la industria en su propia "caída en desgracia".

FACTORES QUE INFLUYEN PARA EXPLICAR LA CRISIS DE CONFIANZA EN LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA

Entre los cuatro factores que desde mi perspectiva han actuado en detrimento de la ciencia y la tecnología y su liga con la industria sobresalen:

I. Falta de una estrategia de comunicación para persuadir a las instancias de decisión (políticos y administradores) y a las personas que definen políticas públicas, de invertir en este ramo en proyectos con propósito definido.
II. Falta de vinculación con la Industria para comercializar los resultados de las investigaciones aplicadas y para persuadirla sobre la necesidad de invertir en el desarrollo de la ciencia pura y de la ciencia aplicada como mecanismo de protección de sus propios intereses al mejorar los índices de calidad de vida de la población.
III. Falta de una estrategia de promoción y comunicación de la ciencia usando un lenguaje llano para que la población en general establezca una relación clara, directa y transparente entre la ciencia, la tecnología y la calidad de vida que disfrutan.
IV. Falta de una estrategia para demostrar que la ciencia, de mano con la Industria, pueden responder al reto de a solucionar las prioridades económicas y sociales de México examinando objetivamente si hay realmente existe una competencia por recursos entre los programas de ciencia, tecnología, innovación y otros objetivos sociales como la erradicación de la pobreza.

4. Victor.indd 97 12/17/19 16:34

Cada uno de estos factores serán analizados con más detalle en los párrafos siguientes.

II. FALTA DE UNA ESTRATEGIA DE COMUNICACIÓN CON ACTORES CLAVE

INSTANCIAS POLÍTICAS

En los estudios que ha realizado Wendy Parsons[10] sobre la comunicación entre los científicos y los políticos ha identificado a los políticos identifica a estos últimos como una de las audiencias más importantes para la comunidad científica. Como resultado de sus investigaciones Parsons encontró que la información que sea proporcionada a los políticos tiene que tomar en cuenta los intereses personales y del electorado de la persona en cuestión, que el mensaje implícito de la comunicación debe de ser la "*creación de bienestar*", que debe de usarse un lenguaje llano, y que la información tiene que ser proporcionada rápidamente, tomando en cuenta los ciclos del parlamento (o del congreso en el caso de México). De hecho, esta necesidad de comunicación entre ambas esferas han sido el ámbito de acción de las oficinas parlamentarias de ciencia y tecnología (POST)[11] en Inglaterra. POST se autodenomina como una oficina dentro del parlamento que es independiente, balanceada y accesible cuyo objetivo es proveer de información sobre la ciencia y tecnología a los parlamentarios del Reino Unido, para que estos a su vez puedan proponer o aprobar la legislación relevante a ese sector. POST no solamente informa a los parlamentarios sino también explora nuevas formas de comunicarse con ellos(as). Entre ellos el uso de los principios de la teoría del "Economía conductual" (Behavioral economics). Por ejemplo, el gobierno en el Reino Unido desde que Tony Blair era Primer ministro empezó a introducir los principios científicos de la Teoría del Comportamiento Económico propuesta por Amos Tversky y Daniel Kahneman en relación con la manera como las personas toman decisiones para lograr fines públicos. Kahneman ganó en el 2002 el Premio Nobel de Economía por esta teoría. Tversky no lo recibió porque murió en 1996. El premio no puede otorgarse de forma póstuma a menos que el ganador haya sido nombrado antes de su defunción. Esta teoría postula que los seres humanos tomamos decisiones sesgadas, influenciadas por la manera como a través del tiempo hemos respondido a las amenazas de nuestro medio ambiente. Y esto ha establecido conexiones en el cerebro que responden a situaciones de

[10] Parsons, W. (2001) Scientists and politicians: the need to communicate, Public Understand. Sci. 10 (2001) pp. 303-314

[11] Web: https://www.parliament.uk/post.

4. Victor.indd 98 12/17/19 16:34

una manera determinada. Como tal, tenemos ciertas preferencias inconscientes que nos "empujan" a tomar decisiones en ciertos sentidos (biases) Kahneman[12] lo explica como el tener dos diferentes métodos para tomar decisiones- uno rápido (Sistema 1) y uno lento y reflexivo (Sistema 2). La teoría identifica una serie de principios para predecir la manera como la gente tomará estas decisiones (principio de familiaridad, principio de framing-tendiendo trampas etc). Estos principios son usados para diseñar y transmitir mensajes a la población para modificar sus comportamientos (por ejemplo, que paguen sus impuestos, que vayan a votar etc). POST está asesorando en México a la Oficina de Información Científica y Tecnológica para el Congreso de la Unión, establecida y operada por el Foro Consultivo, Científico y Tecnológico (FCCyT) para crear un sistema similar de información a los diputados como la que existe en el Reino Unido. Sin embargo, este tipo de entidades dedicadas a informar a las instancias políticas en México y en el mundo son muy nuevas y escasas. El 17 de junio del 2019 durante una visita que realicé a las oficinas de POST ubicadas en el Parlamento ingles en Londres, discutimos la posibilidad de compartir con los diputados y senadores en México información de proyectos de mega-ciencia que el Reino Unido produce para sus propios parlamentarios.

A nivel estatal en México se habla de abrir oficinas similares, pero estas son iniciativas todavía muy incipientes.

Otra manera de comunicarse más efectivamente con las instancias políticas es tener a congresistas con preparación científica. Esto no ha ocurrido históricamente ni en los Estados Unidos ni en México. Para ilustrar este punto, los miembros del actual 116avo Congreso de los Estados Unidos está dominado por políticos de carrera, hombres de negocios y abogados. De los 535 congresistas[13] (435 representantes de la cámara mas 100 senadores) solo 21 (4%) tienen doctorado y otros 21 (4%) son médicos. Pese a todo, el número de personas con doctorado es el más alto en la historia de las elecciones en el Congreso. Es claro que la opción a través de las urnas es muy limitada para mejorar la comunicación de la ciencia a nivel político. En México, de los 335 diputados de esta última legislatura LXIV,[14] solo 17 (5%) cuentan con doctorado, marginalmente mayor al registrado en el Congreso estadounidense. Esta forma de comunicación es evidentemente una que tomara muchísimo más tiempo en madurar.

[12] Kahneman, D (2011). Thinking fast and slow, Editorial Farrar, Straus and Giroux, USA.

[13] Congressional Research Service Membership of the 116th Congress: A Profile Updated June 7, 2019, pp. 5.

[14] Web: https://vanguardia.com.mx/articulo/estos-son-los-diputados-federales-con-mayor-y-menor-escolaridad-quien-tiene-doctorado-y.

4. Victor.indd 99 12/17/19 16:34

ADMINISTRADORES

Las políticas públicas están diseñadas para regular la mayoría de las transacciones económicas y sociales que se llevan a cabo en un gobierno. Pero la ciencia y la tecnología tienden a ser áreas muy especializadas que están por fuera de esta mayoría transaccional. Y esto es mucho más acentuado cuando hablamos de proyectos de gran ciencia como la construcción de un telescopio de punta o la de una fuente de luz sincrotrón o un satélite.

La reforma a la Ley de Ciencia y Tecnología propuesta en el 2018 por el anterior director del Conacyt, Enrique Cabrero definía un programa para proyectos de gran ciencia cubriendo un periodo de 20 años. Aunque la propuesta de reforma a la ley era tímida, iba por el rumbo correcto. El ejercicio de presupuesto de grandes proyectos científicos Es incompatible con ejercicios presupuestales de 12 meses y enfrentan grandes obstáculos para reclasificar gasto corriente a gasto de capital y viceversa de acuerdo con las necesidades del proyecto. No están contempladas, ni la adquisición de bienes en el extranjero o la contratación de bienes y servicios en monedas extranjeras. Mucho menos a la aprobación de una Ley específica para la contratación de personal que trabaje en proyectos de ciencia de interés nacional. Esto fue exactamente lo que hicieron en Brasil para poder construir y operar su propio Sincrotrón. El Congreso brasileño aprobó en 1998 una Ley conocida como de "Organizaciones Sociales" (LEY N 9637 de 15 de mayo de 1998) específicamente para que fuese utilizada en el proyecto de la fuente de Luz Sincrotrón. Aunque esta propuesta de reforma no llego muy lejos, esperemos que este aspecto sea retomado en futuras iniciativas legislativas.

En México las políticas públicas no responden ni facilitan los retos científicos y tecnológicos de mediano y largo plazo. Los administradores tienden a maniobrar con gran imaginación entre la Leyes y regulaciones vigentes que no son aptas para regular este tipo de megaproyectos para poder ejecutar estos proyectos, lo que resulta en largos periodos administrativos para que los recursos puedan ser ejercidos o procesos que no son del todo transparentes.

Otra manera de reducir la barrera de comunicación es nombrar a científicos en áreas administrativas. En estados Unidos la oficina de Física Nuclear del Departamento de Energía contrato a la científica Michelle Shinn como Gerente del Programa de Conceptos Industriales, esto ha hecho que muchas políticas públicas, sistemas y procedimientos sean adecuados al tipo de proyectos que el Departamento está aprobando. Sin embargo, la posibilidad de tener científicos de renombre asesorando, por ejemplo, a funcionarios en la Secretaria de Hacienda para definir políticas públicas de aprobación de presupuesto y ejercicio de gasto apropiadas, es por ahora en México, una posibilidad muy remota.

4. Victor.indd 100 12/17/19 16:34

III. FALTA DE VINCULACIÓN CON LA INDUSTRIA

La ciencia, la tecnología y la industria deberían ser aliados naturales. Pero no lo son. Esto se explica por el hecho de que por un lado tengamos una Industria en crisis, que de acuerdo con Oropeza (2013), citando a Wagymar (2010), ha "… desaparecido del horizonte económico del país en un rango aproximado del 80%".[15] Oropeza apunta a que la Industria ha sido olvidada tanto por el sector público como por el sector privado. Es un sector que históricamente no invierte en ciencia y tecnología como parte una estrategia de negocios para maximizar el valor de la empresa e incrementar los niveles de competitividad del sector. Esto ha ido de la mano de una comunidad científica y académica que no ha sabido demostrar, a través de análisis de impacto económico, comercial y/o social la manera como puede añadir valor a la industria y/o a la sociedad en su conjunto. Usando un lenguaje *no* científico que la industria entienda y la sociedad comprenda. Con esto no estoy asumiendo que cada proyecto científico tiene un valor económico, comercial o social inmediato e implícito, sino que es una responsabilidad el identificar a los proyectos que potencialmente *si* lo tengan. En palabras de Oropeza: "… la propia academia, casi en lo general, se olvido poco a poco de reflexionar sobre las maneras de fortalecer y modernizar un sector que durante 48 años (1934-1982) le dio a México una tasa anual de crecimiento manufacturero del 6.7%".[16]

No es sorpresa el encontrar que México es la nación que invierte menos en Investigación y Desarrollo entre los países de la OECD.[17] México invierte menos del .5% de su PIB en ciencia, tecnología e innovación. La inversión de México solo representa el 1% de la inversión total de sus 37 miembros. Corea del Sur invierte casi 9 veces más que México (4.5%). En el 2018, Corea del Sur fue el país más innovador del mundo. Este pobre desempeño en inversión en México. se presenta por igual tanto en el sector público como en el privado. México ocupo en el 2018, el lugar número 46 en el índice de competitividad mundial reportada por el Foro Económico Mundial,[18] por debajo de países como Chile (posición 33) o de Latvia (44). En relación con el gasto en investigación y desarrollo (I+D) ocupamos el lugar número 61. Nada de lo que podemos estar orgullosos.

[15] Oropeza, A. (2013), Mexico Frente a la Tercera Revolucion Industrial. Instituto de Investigaciones Juridicas, UNAM citando a Wagymar, A (2010) p. 21.

[16] Ibid, Oropeza citando a Calva (2012). Nueva Estrategia de industrializacion. Ciudad de Mexico: Consejo Nacional Universitario. UNAM.

[17] Perspectivas de la OCDE en Ciencia, Tecnología e Innovación en América Latina 2016. Fuente: OCDE.

[18] Schwab K. (2018)The Global Competitiveness Report 2018.

4. Victor.indd 101 12/17/19 16:34

Es claro que no invertimos en ciencia, tecnología e innovación lo suficiente como parte de una estrategia nacional para encontrar soluciones a problemas nacionales.

La inversión del sector privado en CIT ha sido históricamente muy baja y emocionalmente hablando, deprimente. Por ejemplo, CEMEX[19] tuvo ingresos de $14,375 millones de dólares americanos en el 2018, e invirtió en I&D solo $41 millones de dólares (.3%). En contraste, HeidelbergCement compañía productora de cemento competidora de CEMEX, cuyos ingresos en el mismo periodo fiscal fueron de $22,593 millones de dólares,[20] invirtió en investigación y desarrollo $182 millones de dólares (.8%), casi tres veces más que CEMEX. Y esta es la misma historia con otras grandes compañías en México. La inversión en CIT no es vista como algo que agregue valor a la empresa. En otras palabras, CEMEX podrá ser considerada como líder en México, un país con bajísimos niveles de inversión en ciencia y tecnología, pero de ninguna manera está a la par de sus competidores a nivel mundial en el rubro de I&D.

Para ilustrar este punto, ambas empresas están buscando soluciones innovadoras para reducir sus emisiones de dióxido de carbono que es la tercera fuente de contaminación de su tipo en el mundo. Como tal sería lógico como una estrategia en la cadena de valor el invertir directamente en tecnologías que lograran este objetivo, en particular usando tecnologías de punta como una fuente de luz de sincrotrón (Alemania tiene varias, México todavía no tiene ninguna). Este tipo de tecnologías se están desarrollando en el Sincrotrón Australiano[21] por lo que el apoyo a esta tecnología debería de ser contemplada con seriedad. Este no es el caso todavía.

La indiferencia de la Industria corre en paralelo con la falta de comunicación o interés por parte de la comunidad científica de promover sus logros. Parece ser que lo último que se le ocurre a un investigador es pensar si su investigación tendrá un valor comercial, económico o un *propósito social*. Los estudios de caso de las investigaciones científicos tienden a quedarse a medias, resaltando los resultados científicos y sin analizar sin ninguna profundidad su impacto económico y social. Y esto no solo es una característica de la comunidad científica en México, sino que es una historia que se repite, con pocas diferencias, en otras comunidades científicas en el mundo. La vinculación de la ciencia con la industria desde el punto de origen de un proyecto es casi inexistente.

[19] Web: https://www.cemex.com/documents/20143/47890208/CEMEX2018_20FESP.pdf/edd4c476-34d5-b701-4165-bc59c55b3f9e.

[20] Web: https://www.heidelbergcement.es/sites/default/files/assets/document/a4/d2/heidelbergcement-sustainability-report-2018.pdf.

[21] Web: https://stories.scienceinpublic.com.au/2011/greenerfuture/#more-1890.

4. Victor.indd 102 12/17/19 16:34

Para ilustrar este punto evalué los estudios de caso que se presentan en el sitio de internet del Sincrotrón Diamond[22] en el Reino Unido. Diamond es una infraestructura científica que en general está más avanzada en su vinculación con la industria, que otras instalaciones similares. Cuenta hasta con un Comité de vinculación ciencia- industria[23] y en su página de internet presenta casos de estudio por tipo de industria en el área generadas usando su fuente de luz sincrotrón.

Como parte de este ejercicio, seleccione aleatoriamente uno de los casos de estudio en la Industria aeronáutica, que se enfoca a identificar un método no destructivo de la hélice de las turbinas para avión modelo Trent 1000.[24] El estudio de caso es un resumen del problema, el desafío, la solución y los beneficios que enfrento la compañía Rolls Royce y como tal da una visión general de la utilidad de la investigación. El estudio contiene una cita del Profesor David Rugg que indica que los resultados los ayudaran a "mejorar procesos, mejorar materiales y reducir costos". Sin embargo, no se presenta información que detalle el impacto económico de esta investigación y alguna métrica para medir la mejora en los procesos o las ventajas de usar nuevos materiales. En este caso podríamos asumir que el detalle no se presenta porque hay intereses y razones de confidencialidad comerciales detrás de esta decisión. Cuando revise los demás casos de estudio de este Sincrotrón en otras industrias, o en otros Sincrotrones o en otras áreas de investigación, o en general haciendo un escaneo en la base de datos especializada de información Lexis Nexis o la tradicional herramienta de búsqueda de información como Google, me encontré que la información de análisis detalladas con información del impacto económico o social generada por instalaciones científicas de punta (o inclusive de universidades) es casi nula. En algunos casos revise los reportes anuales de las empresas que reportaron que se han beneficiado de las investigaciones científicas y es muy difícil encontrar información sobre la utilidad económica o social generada por los resultados de la investigación. Y no es que no exista, sino que no es considerado por la propia industria o las autoridades científicas como algo útil. Si el análisis económico presentado por el Diamond, nos indicara que Roll Royce ahorraría "X" millones de dólares al introducir estas nuevas prácticas, ello le daría una señal al mercado de los motores turbina de que están perdiendo competitividad en ese mercado y que ellos están forzados a que invertir en soluciones tecnológicamente innovadoras utilizando las tecnologías de punta de esta fuente de luz de sincrotrón.

[22] Web: https://www.diamond.ac.uk/industry/Case-Studies.html.

[23] Web: https://www.diamond.ac.uk/industry/Meet-the-Team/Diamond-Industrial-Science-Committee.html.

[24] Web: file:///Users/vdelrio/Downloads/Rolls%20Royce%20-%20Fan%20Blades%20WEB%20(1).pdf.

4. Victor.indd 103 12/17/19 16:34

Pero en otras áreas de la ciencia (inclusive cuando la falta de dinero *no* es una barrera) la información de los beneficios de la ciencia no está a la mano. Tuvimos que esperarnos 36 años para que la NASA empezara a publicar los beneficios tecnológicos del programa lunar Apollo.[25] El periódico Telegraph reportó el 6 de septiembre del 2019, que la NASA había desarrollado más de 6,300 diferentes tecnologías en todos sus programas de exploración espacial.[26] Esta información salió a relucir a raíz de la celebración del 50avo aniversario de la llegada a la luna. Parece ser que continuaríamos en la penumbra de información si no hubiese aniversarios que celebrar. Esto por supuesto ha beneficiado a algunas megaempresas que *si* están monitoreando constantemente los centros de investigación científica. Es una de las estrategias de las grandes empresas farmacéuticas que de manera monopólica controlan los canales de producción y distribución de medicamentos y vacunas. Las grandes empresas compran las patentes de nuevos medicamentos a Universidades y centros de investigación a precios irrisorios. Esto al final de cuentas actúa en detrimento de los investigadores, de los centros de investigación, de las Universidades y finalmente de la sociedad que a través de sus impuestos financian estos proyectos. De acuerdo con la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual, en su Informe del 2018[27] (con cifras de 2017), México que es la economía numero 15 globalmente, medido en relación con el producto interno bruto (PIB), ocupó el lugar número 33 en el mundo en relación con el numero de patentes, el 18 con respecto a marcas y el 33 con respecto a diseños. La generación de patentes es vista por algunos investigadores como Guzmán, Víquez y Herrera[28] como un elemento muy importante para entender el crecimiento económico del producto interno bruto de un país y el grado de dependencia (o independencia económica tecnológica de un país). De manera más amplia, Robert Solow, Premio Nobel de Economía en 1987 identifico el progreso tecnológico y la innovación como uno de los motores principales del crecimiento económico en el mundo.[29]

Y aquí está el otro lado de la moneda: en México la legislación y las regulaciones sobre los procesos para patentar los resultados de una investigación y la

[25] Web: https://www.nasa.gov/sites/default/files/80660main_ApolloFS.pdf.

[26] Web: https://www.telegraph.co.uk/news/science/space/5893387/Apollo-11-moon-landing-top-15-Nasa-inventions.html.

[27] Web: https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_941_2018.pdf.

[28] Guzmán, A., Gómez, H., López, F. (2018) Patentes y crecimiento económico, el caso de México durante el tlcan. Economía Teoría y Práctica • Nueva Época, número especial, agosto 2018, pp. 177-214, http://dx.doi.org/10.24275/ETYPUAM/NE/E042018/.

[29] Web: https://futureofsourcing.com/robert-solow-innovation-technology-math-make-difference.

4. Victor.indd 104 12/17/19 16:34

propiedad intelectual además de ser tardados (3 a 5 años)[30] no han tendido a beneficiar suficientemente a los investigadores, sus centros de investigación o a sus propias universidades. Esto resulta en situaciones absurdas en donde de plano los investigadores no patentan sus descubrimientos en México o las registran en los Estados Unidos. De acuerdo con el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI) en el 2017 solo el 5% (407) de las patentes fueron entregadas a connacionales. Este es un porcentaje optimista en base a los totales de patentes de 1993 al 2017. Del total de 186,428 patentes, solo el 3% (8,510) fueron otorgados a mexicanos el 97% se fueron a extranjeros, principalmente de los Estados Unidos (52%) y de Alemania (9%).

Patentes Mexicana Registradas de 1993 al 2017

Concepto	*México*	*Alemania*	*Estados Unidos*	*Francia*	*Japón*	*Reino Unido*	*Suiza*	*Otros países*	*Total*
Parentes	5,403	16,002	97,340	9,917	8,872	4,997	9,593	34,214	186,428
Relativo	3%	9%	52%	5%	5%	3%	5%	18%	100%

La fuga de patentes hacia nuestro vecino del norte principalmente es más evidente si comparamos las 5,403 patentes registradas en México, de 1993 al 2017 con las 5,148 patentes registradas por mexicanos[31] en el mismo periodo en los Estados Unidos. De hecho, en el 2017 los mexicanos registraron más patentes en los Estados Unidos (593) que las registradas en México (407). Hay que reconocer que las instituciones en México reconocen la falta de registro de patentes como un gran problema nacional al que han estado enfrentando por los últimos 15 años. La UNAM a través del "Acuerdo por el que se Establecen los Lineamientos Generales sobre Transferencia de Tecnología y Conocimiento en la Universidad Nacional Autónoma de México publicado el 28 de marzo del 2019" y de estrategias para incrementar la solicitud de patentes de sus investigadores, busca darle más seguridad y protección a la propiedad intelectual de sus investigadores y una más clara definición al monto de regalías que estos recibirían. Por su parte el CINVESTAV, de acuerdo con Magaña "les concede a los investigadores hasta el 40% de los ingresos por la venta o licenciamiento de la patente que

[30] Los costos para el trámite de patentes en México, aunque ahora ya no son no tan onerosos como lo eran anteriormente, llegan a casi $5,000 pesos sin incluir los gastos legales que sean relevantes en cada caso.

[31] U.S Patents and Trademark Office, Number of Utility Patents Applications filled by Country of Origin, https://www.uspto.gov/web/offices/ac/ido/oeip/taf/appl_yr.htm.

4. Victor.indd 105 12/17/19 16:34

realizaron". Pero aun así el tema es aun más complejo como lo demuestran la misma disertación del experto Magaña Rufino.[32]

Es evidente que el sistema de patentes en México *pese a todas estas reformas y cambios a la ley y regulaciones no ha dado resultados positivos todavía. Esta sería la conclusión si* nos basamos en la tendencia hacia la baja de registro de patentes desde 1993, en donde en 1994 alcanzamos un histórico registro del 7% hechas por mexicanos, y para el año 2017 este registro fue del 2% menor. Algunos opinan que existe un desfasamiento de 3 a 5 años y que los resultados de este cambio de legislación y políticas se verá reflejada del 2019 en adelante. Eso espero.

Muchas de estas de patentes de mexicanos registradas en el resto del mundo surgieron de experimentos que tuvieron lugar en centros de investigación públicos en México. Esto es un secreto a voces.

La falta de información comercial, económica y social de estos experimentos facilita esta pérdida de conocimiento y al final también la pérdida de los recursos económicos asociados al proceso de investigación y descubrimiento y como lo identificaron Guzmán et al, una pérdida también en el PIB nacional.

IV. FALTA DE UNA ESTRATEGIA DE PROMOCIÓN Y COMUNICACIÓN DE LA CIENCIA

La ciencia no ha sido muy efectiva comunicando el papel crítico que históricamente ha jugado para que la sociedad goce de los niveles actuales de calidad de vida. Pero como analizaremos en párrafos más adelante, en décadas anteriores tampoco necesitaba de esta comunicación. Pero el mundo y el contexto político han cambiado y esta ausencia de comunicación efectiva de la ciencia lo están aprovechado los grupos de poder en el mundo que ven en ciertas de las disciplinas científicas, como el cambio climático, la protección al medio ambiente, la modificación genética y la teoría de la evolución (o Ley de acuerdo con Richard Dawkins) como los enemigos de sus propios intereses. Estos grupos de poder utilizan el método de argumentación conocido como la "Post-Verdad"[33] para persuadir a la población de la validez de sus causas. Este método de debate es

[32] Magaña Rufino, J. M (20-14) Titularidad De La Propiedad Industrial E Intelectual en México Realizada Bajo una Relación De Trabajo o por Encargo.

[33] Nota: El concepto de Post-verdad está definido por el Diccionario de Cambridge como el proceso de argumentación que se basa en las emociones y/o creencias del; proponente más que en hechos observables o evidencia.

4. Victor.indd 106 12/17/19 16:34

un instrumento de estrategia política para desacreditar áreas específicas de la ciencia.[34]

Pero esto no fue siempre así. La ciencia, en general, les dio la victoria a los aliados sobre Alemania, Italia y Japón en la Segunda Guerra Mundial. El éxito del proyecto Manhattan convirtió a los científicos en los hijos preferidos del sistema y el dinero para financiar investigaciones de todo tipo empezó a fluir de manera incesante y sin necesidad alguna de justificar nada. Estas inagotables fuentes de financiamiento beneficiaron primordialmente a la ciencia que alimentaba al aparato militar en el mundo, en particular el estadounidense.

En Febrero de 1958 el Presidente Dwight D. Eisenhower creo el "Advanced Research Projects Agency" (ARPA), y con ello inicia el proyecto de vinculación Academia, Industria y Gobierno con *más* éxito en la historia del mundo. ARPA se convertiría en *el* instrumento científico para asegurar que los Estados Unidos se mantuvieran con la supremacía militar con la que gozaron por algunos años con la producción de la primera bomba atómica. La confianza del Gobierno norteamericano en la comunidad científica y su capacidad para llevar a cabo proyectos estratégicos era absoluta. La guerra de Vietnam le ofreció la oportunidad a la comunidad científica de embarcarse en proyectos bizarros, absurdos y muy costosos, como la construcción de la cerca eléctrica para evitar el abastecimiento de suministros a las fuerzas del Viet Cong a través del corredor de Ho Chi Minh.[35] Esta cerca eléctrica, que nunca funciono, costó casi $1 billón de dólares (a valor presente), y otros como la creación del Napalm, dejarían una huella de infamia y mancharía la reputación de la profesión científica. En años posteriores la revelación que detrás de muchos de estos descubrimientos estaba el grupo de científicos conocido como "Jasón" que fue formado en 1960 e incluía[36] a físicos de gran renombre trabajando en las mejores universidades de los Estados Unidos. El grupo Jasón representaba una ciencia sin un "compás moral".

La época de oro de la ciencia empezó a finales de los años 50 en donde se estimaba que más del 60% de los estadounidenses confiaba en la comunidad científica. De acuerdo con el PEW Research Centre, la ciencia desde 1973 ha gozado de una gran estabilidad en los niveles de confianza del público de alrededor del 40%.[37] En el 2018 el nivel de confianza fue del 44%, pese a los ataques constantes del presidente Trump y su continua arremetida en las redes sociales

[34] Web: https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/post-truth.

[35] Jacobsen, A. (2015) The Pentagon's Brain: An uncensored History of DARPA, Little Brown and CompanyNY, USA p197,368.

[36] Nota: Entre 30 y 60 científicos.

[37] Web: https://www.pewresearch.org/fact-tank/2019/03/22/public-confidence-in-scientists-has-remained-stable-for-decades/.

4. Victor.indd 107 12/17/19 16:34

para desacreditar a áreas de la ciencia usando el método "post-verdad". Estos porcentajes significan que en los mejores momentos que ha tenido la ciencia en los Estados Unidos en las últimas 4 décadas, el 56% no tenía una gran confianza en ella, y estas cifras tienen lugar en pleno Siglo XXI.

En el Reino Unido la confianza de la población en la ciencia ha sido generalmente mayor. En un Reporte producido en el año 2000 por la Oficina de Ciencia y Tecnología del Parlamento, denominado "Science and the Public A Review of Science Communication and Public Attitudes to Science in Britain[38]", encontró que dos tercios de la población consideraban que la ciencia y la tecnología hacían que sus vidas fuesen más saludables, más fáciles de vivir y mas confortables. Ocho de cada diez personas opino que habría que apoyar la ciencia y la tecnología para mantener el nivel de competitividad de la nación. Pero solo 43% fue de la opinión que los beneficios de la ciencia y la tecnología eran mayores que los efectos negativos que pudiesen ocasionar. En México de acuerdo a la Encuesta Mundial de Valores 2012[39] (algunas publicaciones en México citan cifras del 2018 pero no encontré los archivos correspondientes a las fuentes citadas), más del 60% de la población estaban de acuerdo con que la ciencia y la tecnología hacían que sus vidas fuesen más saludables, más fáciles de vivir y más confortables y un 68% creían que la ciencia le otorgaría mayores oportunidades a los jóvenes. Sin embargo, el 54.5% opino que "dependíamos demasiado de la ciencia y no de la fe".

Por su parte los resultados de la Encuesta sobre Percepción Pública de la Ciencia y la Tecnología en México (ENPECYT) 2017[40] fueron todavía más positivos. Encontró que el "…92.2% de la población está de acuerdo o muy de acuerdo en que se incremente la inversión gubernamental para el impulso de la investigación científica". La encuesta revela que 24% de la población dijo contar con un nivel de información muy bueno o bueno sobre nuevos inventos, descubrimientos científicos y desarrollo tecnológico, el 47.0% moderado y el 29.0% un nivel de información nulo. El área de ciencia y tecnología en México, de acuerdo con estas dos fuentes de información, goza de un mayor apoyo de sus poblaciones con respecto a existente en los propios Estados Unidos (exceptuando cuando se enfrenta la ciencia con la religión).

[38] Oficina de Ciencia y Tecnología del Parlamento (2000), "Science and the Public A Review of Science Communication and Public Attitudes to Science in Britain, p. 5.

[39] Web: http://worldvaluessurvey.org/WVSContents.jsp, WV6_Results, Study # México 2012_v20180912.

[40] INEGI (2017). Encuesta sobre Percepción Pública de la Ciencia y la Tecnología en México (ENPECYT) 2017 INEGI en colaboración con el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

4. Victor.indd 108 12/17/19 16:34

Pero este apoyo por la ciencia parece que no ha surgido de una estrategia articulada de promoción y difusión de ésta a nivel mundial o nacional. Ni por proyectos específicos que hayan sido diseñados con un objetivo social que haya sido comunicado a la población. Por ejemplo, como en el caso de la Revista electrónica de difusión científica "la Conversación" (The Conversation)[41] que se ha convertido en todo un fenómeno de comunicación de la ciencia y académico a nivel mundial en términos de la aceptación que ha recibido por el publico (35% de los lectores provienen de otros países). La Conversación es una iniciativa australiana para difundir de manera independiente noticias, información y opiniones provenientes del mundo académico y científico dirigidas, en un lenguaje llano, al público en general. La Conversación usa un formato escrito más ligero que la Conferencias TED.[42] La Conversación está patrocinada principalmente por la mayoría de las universidades más importantes en Australia y acepta contribuciones de académicos y científicos que quieran comunicar sus ideas sin usar "coloquialismos científicos" ni lenguaje ni sofisticado o "rimbombante". Actualmente este medio de comunicación ha sido replicado en África, el Reino Unido, los Estados Unidos, Francia e Indonesia y cuenta con una audiencia a nivel mundial de 42 millones de lectores.[43]

En conclusión, aunque en el pasado pudimos sobrevivir como país sin una estrategia de comunicación coherente e integrada en donde nuestra audiencia principal fuese la sociedad en su conjunto, ahora sin ella, estamos condenados a vivir una situación de dependencia tecnología, pobreza económica y sin tener la capacidad de proteger la soberanía nacional, de la que tanto se habla, en la mayoría de los discursos políticos.

V. FALTA DE UNA ESTRATEGIA PARA DEMOSTRAR QUE LA CIENCIA, DE MANO CON LA INDUSTRIA, PUEDAN RESPONDER AL RETO DE SOLUCIONAR LOS MAYORES PROBLEMAS ECONÓMICOS Y SOCIALES DE MÉXICO

México tiene muchas carencias, un estado precario en los índices de salud de su población, una gran inseguridad pública, un gran nivel de pobreza con enormes niveles de desigualdad económica y social, y con grandes contradicciones culturales. Y pese a todo México de manera contradictoria, también es un país muy rico tanto económicamente como en términos de riqueza cultural, lo cual hace que

[41] Web: https://theconversation.com/au/who-we-are.

[42] Web: https://www.ted.com/recommends?gclid=Cj0KCQjwqs3rBRCdARIsADe1pfTvv-NdvBD6zZ9fiA8FkVKnuZR1gVXJSSxC6AjMC1k0QbjId2tXSsYaAhe7EALw_wcB#/.

[43] Web: https://theconversation.com/au/audience.

4. Victor.indd 109 12/17/19 16:34

sea todo un reto explicar el porqué nos encontramos en la situación de crisis en la que actualmente nos encontramos actualmente. Es claro que el bienestar social de primer mundo es exclusivo de algunos cuantos, y el acceso al empleo formal y oportunidades de educación de calidad son muy limitadas para la mayoría de la población del país. Esta situación hace que algunos discursos de políticos en los que resaltan la dicotomía del dinero versus el dinero para erradicar la pobreza y el subempleo tengan tanta resonancia en algunos sectores de la población. En los siguientes párrafos hago un análisis del tema de la erradicación de la pobreza utilizando la Diabetes Mellitus II y la tecnología de fuentes de luz sincrotrón como ejemplos.

De acuerdo con el CONEVAL el 2018, había 52.4 millones de mexicanos (41.9%) en situación de pobreza.[44] De estos 9.3 millones (3.6%) viven en un estado de pobreza extrema ($1.90 dólares al día o menos). Estas personas experimentan una serie de carencias sociales (salud, alimentación, vivienda) en diferente magnitud. Y estos datos contrastan, irónicamente, con las cifras del Producto Interno Bruto (PIB) por país en el 2018 en las cuales, de acuerdo con el Banco Mundial, México ocupaba el lugar número 15 en esta jerarquía. País rico con grandes niveles de pobreza y desigualdad.

Y la situación de pobreza de la población hace que los segmentos más vulnerables de este grupo tan desventajado económicamente estén en condiciones de alto riesgo en los ámbitos de salud, alimentación y seguridad y desempleo lo cual crea un ciclo inexorable hacia la repetición de su condición de pobreza. Y estas son las áreas, *precisamente*, en que la ciencia, la tecnología y la innovación junto con la industria podrían jugar un papel crítico para erradicar la pobreza y/o aminorar las carencias sociales de la población más vulnerable de México. Pero voy a ilustrar este punto con respecto a la epidemia de la diabetes mellitus (DM II) en relación con un instrumento de investigación científica como lo es una fuente de luz sincrotrón.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) en el año 2016[45] reportó que en México había 8.7 millones de personas padeciendo diabetes y otros 12 millones que padecen esta enfermedad, pero todavía no lo saben. Casi 1 de cada 6 personas viviendo en el país. En ese año 87,000 mexicanos y mexicanas murieron a consecuencia directa de esta enfermedad. Si a esto le añadimos una persona que entre el círculo familiar o de amigos tienen que cuidar del enfermo con diabetes, terminamos con un total de 17.4 millones que están relacionadas a esta enfermedad de manera directa e indirecta. Más otras 300,000 personas trabajando por

[44] Web: https://www.coneval.org.mx/Medicion/PublishingImages/Pobreza_2018/Serie_2008-2018.jpg.

[45] Web: https://www.who.int/diabetes/country-profiles/mex_es.pdf.

4. Victor.indd 110 12/17/19 16:34

los servicios de salud atendiendo a las personas que sufren esta enfermedad. La tendencia de las personas con diabetes en México está al alza. Para el año 2025 México ocupara el séptimo lugar en el mundo con respecto al número total de su población con diabetes. Es altamente probable que, si usted está leyendo este libro, por lo menos conoce a una persona que esta padeciendo las consecuencias de esta terrible enfermedad.

De acuerdo con María Barraza (et al.)[46] en un Estudio para determinar la carga económica de la Diabetes Mellitus (DM II), esta enfermedad se ha convertido en una amenaza de salud para México por su "alto grado de mortalidad y discapacidad que genera, incluyendo a grupos de población en edad productiva". La DM II es la segunda causa de muerte en México.

En un informe del INEGI que publicó en octubre del 2018, indicó que en el 2017 las principales causas de muerte en México por problemas de salud fueron en orden de magnitud, las enfermedades del corazón (141,619 personas), la Diabetes DM II (106,525) y Tumores malignos (84,142). Los principales factores de riesgo son el sobrepeso, la obesidad y la inactividad física. Entre las principales causas que generan la epidemia de obesidad en América Latina se encuentra el alto consumo de alimentos ultra-procesados.

Esta enfermedad afecta desproporcionadamente a la gente en edad productiva y como veremos también a la población más económicamente desventajada. El estudio indica que el 40% de la población con Diabetes afecta al grupo de edad entre los 20 y los 65 años.

La Oficina de Información Científica y Tecnológica para el Senado de la República y la Cámara de Diputados (INCyTU) reporto en agosto del 2016 que "…la causa principal de la epidemia de diabetes producida por obesidad en América Latina era el alto consumo de alimentos ultra-procesados. México ocupa el primer lugar en la región en el consumo de estos alimentos: poco más de 4 kg per cápita a la semana".

A este panorama tan lúgubre de salud hay que sumarle el impacto económico tan negativo para el país. Las cifras son aterradoras, de acuerdo con Barraza:

Las cifras para el 2019 son aun peores. El sobrepeso, la obesidad y la inactividad física son identificados por los investigadores como los principales factores de riesgo.

[46] Barraza-Lloréns M, Guajardo-Barrón V, Picó J, García R, Hernández C, Mora F, Athié J, Crable E, Urtiz A (2015) Carga económica de la diabetes mellitus en México, 2013. México, D.F.: Funsalud., p. 3.

4. Victor.indd 111 12/17/19 16:34

> Para 2013, la carga económica de la diabetes se estimó en 362,859.82 millones de pesos, es decir 2.25% del PIB de ese mismo año (figura I). Este monto es mayor que el crecimiento real anual de la economía mexicana registrado por el INEGI al cierre del 2014 (2.1%), y no es una cifra menor si se le compara con el costo de otros problemas que también constituyen barreras al desarrollo económico como es la corrupción, cuyo costo se estima en 2%-10% del PIB.6 Los costos directos de la DM II en México se estimaron en $179,495.3 millones de pesos en el año 2013, lo que representa el 1.11% del Producto Interno Bruto (PIB) de ese mismo año (figura II). El costo de la atención médica de las principales complicaciones de la DM II representa el mayor porcentaje (87%) de los costos directos (Ibid., p. 4).

El Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO) estimo un gasto directo relacionado a la diabetes de $85,000 millones de pesos en el año 2018.

Pero el impacto de esta enfermedad afecta *desproporcionadamente* a la población más vulnerable de la sociedad.

Varios estudios en México (Shamah,[47] Domínguez Alonso[48] y otros) apuntan a que la prevalencia de la diabetes se da generalmente en personas de niveles socioeconómicos bajos y medio bajos. A nivel internacional se han encontrado resultados similares, Suwannaphant (et. al.) concluyó en su investigación en Tailandia que: "… los factores socioeconómicos están asociados con la Diabetes Mellitus (DM II) en particular los grupos más vulnerables son las mujeres, personas de edad y personas con bajo niveles de educación".[49]

Mendoza Romo et al.[50] en un estudio de la OMS, encontró en un estudio realizado en el 2017 que el índice de desarrollo humano (vida larga y saludable, educación y nivel de vida digno) puede influir en la prevalencia de DM II, pero que esto variaba de país a país y de año con año.

[47] Shamah-Levy T, et al. La Diabetes Mellitus en estratos socioeconómicos bajos de la ciudad de México. Rev Invest Clin 2007; 59 (4): 246-255.

[48] Dominguez, A.E. (2013). Desigualdades sociales y diabetes mellitus, Rev Cubana Endocrinol vol. 24 no. 2 Ciudad de la Habana mayo-ago. 2013.

[49] Suwannaphant, K. , Laohasiriwong, W. , Puttanapong, N., Saengsuwan, J., Phajan, T. (2012).Association between Socioeconomic Status and Diabetes Mellitus: The National Socioeconomics Survey, 2010 and 2012 , Journal of Clinical and Diagnostic Research. 2017 Jul, Vol-11(7): LC18-LC22

[50] Mendoza Romo MA, Padrón Salas A, Cossío Torres PE, Soria Orozco M. (2017). Prevalencia mundial de la diabetes mellitus tipo II y su relación con el índice de desarrollo humano. Rev Panam Salud Publica. 2017; 41:e103. doi: 10.26633/RPSP.2017.103

4. Victor.indd 112 12/17/19 16:34

En base a estos estudios podríamos concluir con un alto grado de certidumbre que la lucha contra la DM II es también *una lucha para erradicar la pobreza*. Y en esta guerra hay muchas maneras de ganar la batalla utilizando como armas a la ciencia, la tecnología, la innovación y con el brazo ejecutor de la industria.

El mundo está invirtiendo en la busqueda de soluciones y tratamientos para esta pandemia. Un estudio publicado en el 2006[51] por Halban et al muestra que los Estados Unidos invertían casi 1 billón de dólares en investigación para la Diabetes Tipo 1y 2. La inversión de la Comunidad Europea no llegaba en aquel entonces a los $25 millones de dólares al año. Muy poco dinero pese a la magnitud e impacto de este problema cuyo costo a nivel mundial se estimó en $825 billones de dólares en el 2016.[52] Y la American Diabetes Association estimó a su vez que en el 2018 esta cifra se elevaría a 2.5 trillones de dólares para el año 2030.[53] En el año 2004, en esta Revista especializada en estudios de Diabetes, se publicaron un total de 100 artículos sobre el tema, 37 de la Comunidad Europea, 48 de los Estados Unidos y 15 en el resto del mundo. Sin embargo, en el caso de México no logre identificar el número de investigadores o de artículos publicados sobre el tema y el monto invertido por los centros de investigación públicos y privados en la búsqueda de soluciones para esta enfermedad.

El cáliz sagrado de la Diabetes seria encontrar una cura. Pero esto, aunque es un objetivo final de los investigadores no es lo que domina la arena de la investigación científica en el mundo. Hay dos áreas de investigación en donde se están utilizando tecnologías de punta contra esta enfermedad. Una de ellas busca mitigar efectos negativos en la calidad de vida en las personas que la padecen, desde evitar amputaciones hasta la ceguera. Otra es para incrementar el acceso de medicamentos genéricos para que la población más vulnerable económica y socialmente los pueda adquirir a un precio mucho menor. Y el tiempo es vital para salvar vidas y para reducir el nivel de sufrimiento de la población afectada. México ejecuta grandes programas para la prevención y el tratamiento de la diabetes en particular en el área de prevención y tratamiento. En particular México es uno de los países que ha introducido políticas públicas para reducir el consumo de azúcar en la población. Entre ellas la imposición de impuestos al consumo de refrescos. Uno de los puntos más sobresalientes del Paquete Económico 2020

[51] Halban P.A., Ferrannini E., & Nerup, J. (2006) Diabetes research investment in the European Union. Volume 12 | Number 1 | January 2006 Nature Medicine.

[52] Web: https://www.hsph.harvard.edu/news/press-releases/diabetes-cost-825-billion-a-year/

[53] Bommer, C., Sagalova, V., Heesemann, E., Manne-Goehler,,J. Atun R., Bärnighausen,T., Davies, J., Vollmer,S. (2018) Global Economic Burden of Diabetes in Adults: Projections From 2015 to 2030, Diabetes Care 2018 Feb; dc171962.

4. Victor.indd 113 12/17/19 16:34

del presidente Andrés López Obrador fue el incremento de impuestos a estas bebidas saborizantes con alto contenido de azúcar.[54] El consumo de refrescos ha sido identificado como una de las causas más importantes de la epidemia de diabetes que sufre el mundo y México en particular.

Si hay un proyecto que podría ejemplificar la capacidad de vinculación entre la ciencia, la tecnología, la industria y que estuviese alineado a una prioridad social del Gobierno de México para reducir la pobreza, ese proyecto sería la lucha contra la diabetes. Y en esta lucha un proyecto de gran ciencia como el Sincrotrón podría jugar un papel indispensable.

El Sincrotrón se ha convertido uno de los instrumentos de investigación de punta más importantes en la lucha contra la Diabetes. Más del 70% de las investigaciones realizadas en los sincrotrones en el mundo están enfocadas al área de biomedicina. El sincrotrón permite obtener resultados en semanas en lugar de meses, esto les permite a los investigadores reformular y rediseñar sus investigaciones mucho mas rápidamente. Hay que recordar que en el proceso de hacer ciencia la gran mayoría de las investigaciones fallaran muchas veces en su búsqueda por una solución a un problema de salud determinado. El Sincrotrón les permite tener éxito, al darles la habilidad de recobrarse rápidamente de una caída. En el Anexo 1 doy algunos ejemplos de las investigaciones publicadas sobre Diabetes que tuvieron lugar en fuentes de luz sincrotrón en el 2018.

Otra área donde las investigaciones realizadas en Sincrotrones están teniendo un impacto en la reducción en los costos de tratamiento de enfermedades en general y la diabetes en particular, es la reducción en el tiempo de aprobación de medicinas genéricas de 10 meses a 6 meses. En Australia el periodo de aprobación varía de medicamento a medicamento[55] desde 152 hasta 250 días hábiles. El sincrotrón ha logrado reducciones a 100 días hábiles. Esta reducción permite que las compañías farmacéuticas puedan producir medicinas para el público a un costo menor y les da una ventaja competitiva con respecto a otras compañías que no cuenta con esta facilidad tecnológica de punta. Esto también tiene implicaciones en el presupuesto de los sistemas de salud en el mundo dedicado a medicamentos.

Recapitulando, la relación ciencia, tecnología, innovación e industria solo se va a establecer sólidamente cuando se definan proyectos concretos que beneficien a todas las partes y en particular a la sociedad en su conjunto. Y cuando

[54] Web: https://www.milenio.com/politica/paquete-economico-2020-arturo-herrera-entrega-camara-diputados.

[55] Web: https://www.tga.gov.au/prescription-medicines-registration-new-generic-medicines-and-biosimilar-medicines.

4. Victor.indd 114 12/17/19 16:34

estos proyectos, su proceso y sus resultados se comuniquen a la sociedad en un lenguaje llano y claro tocando aspectos que tienen un significado real y visible para la sociedad. Si hay alguna lección que aprender del éxito de ARPA (luego conocido como DARPA) fue eso, gobierno, ciencia e industria tenían un objetivo común y trabajaban para lograrlo desde una misma trinchera.

VI. PROPUESTA DE UN MODELO DE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA VINCULAR LA CIENCIA, LA TECNOLOGÍA Y LA INDUSTRIA EN LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS NACIONALES

Por décadas hemos perseguido, sin éxito, que los gobiernos en México incrementen los recursos a la ciencia, la tecnología y la innovación a por lo menos el 1% del PIB nacional y que la industria asuma el liderazgo en el área de innovación y desarrollo suponiendo que era en su propio interés asumir este liderazgo (ya que con ello incrementaría su propia posición competitiva). Desde 1990, no lo hemos logrado ni siquiera por decreto (Ley de Ciencia y Tecnología, Articulo 9S). De hecho, vamos en retroceso, se calcula el gasto en CIT para el 2019 representara solo el .46% del PIB. Es hora de que reflexionemos con cuidado el significado de la frase que dice "hay gentes que repiten 100 veces la misma estrategia esperando obtener un resultado diferente". El tomar como bandera que el gobierno y la industria aumenten el presupuesto y participación en ciencia, innovación y tecnología por decreto, en un vacío económico y social y sin contar con el apoyo de la sociedad, ha sido históricamente un sueño "guajiro". Pero un cambio de estrategia para intentar un camino no andado generara seguramente la resistencia habitual de la gente empeñada en tratar no 100 veces, pero 200 el mismo camino. ¿Entonces, donde está la luz al final del túnel?

Requerimos de un nuevo modelo de financiamiento público que involucre desde un origen a la ciencia, tecnología, industria y al gobierno en el diseño y ejecución de políticas públicas en torno a buscar soluciones de *problemas nacionales*. Esto no es nuevo, hay muchos estudios que identifican el papel crítico que juega la tecnología y la innovación en áreas como la inclusión social y la igualdad. Bárcena (2013) indica que las "…estructuras más diversificadas y dinámicas en lo tecnológico tienden a correlacionarse positivamente con una mejor distribución del ingreso".[56] Bárcena también encuentra que "… hay una correlación positiva entre el desempeño de los países en términos educativos y la estructura

[56] Barcena, A. (2013). Mexico: Revolucion Tecnologica, Cambio Estructural, y Politica Industrial en Mexico Frente a la Tercera Revolucion Indiustrial, Coordinadsor, Arturo Oropeza Garcia, Instituto de Investigaciones Juiridicas de la UNAM, p. 46.

4. Victor.indd 115 12/17/19 16:34

productiva".[57] Pero una nueva política industrial requiere de una reestructuración (¿revolución?) de la misma administración pública para que esta responda eficientemente a un modelo *diferente* de hacer las cosas con un financiamiento *adecuado* de mediano plazo para lograrlo. No puede definirse una sola política industrial y dividirse su ejecución por Secretarias de Estado, ni crear programas transversales que también cruzan transversalmente muchas agendas e intereses creados por décadas.

El modelo de financiamiento que propongo tiene los siguientes componentes principales:

A. AIdentificación de problemas nacionales prioritarios
B. Diseño de políticas públicas en donde su principal objetivo sea la solución del problema, no la manera como está organizada la administración pública en México.
C. Reestructuración de la administración pública para que responda a los retos identificados y maximice el éxito de la política pública en cuestión.

A. IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS NACIONALES PRIORITARIOS

En el ejemplo analizado en párrafos anteriores, identificamos a la lucha contra la diabetes como un área específica de un proyecto nacional para la erradicación de la pobreza, que demanda la colaboración estrecha entre la ciencia, la tecnología, la innovación, la industria y el gobierno. Las políticas públicas para prevenir esta enfermedad, la identificación de una cura potencial de esta enfermedad o cualquier tratamiento que aminore su impacto tendrían un impacto directo en la reducción y futura erradicación de la pobreza. Así como en la diabetes hay otras enfermedades que directamente impactan más desproporcionadamente a las poblaciones más vulnerables en el país. En este contexto el diseño y ejecución de una política pública para la lucha de enfermedades le daría a la vinculación ciencia e industria un significado de corte social. Este propósito social podría comunicarse claramente a la sociedad. Sobre todo si el problema está en casa.

Entre otros proyectos a considerar estaría el incremento del bienestar de la población, la seguridad alimentaria, el cambio climático y la protección del medio ambiente y la generación de energía a través de medios sustentables entre otros temas.

[57] Ibid., p. 47.

4. Victor.indd 116 12/17/19 16:34

B. DISEÑO DE POLÍTICAS PÚBLICAS EN DONDE SU PRINCIPAL OBJETIVO SEA EL IDENTIFICAR FUENTES DE FINANCIAMIENTO ESTABLES PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA IDENTIFICADO, NO LA MANERA COMO ESTÁ ORGANIZADA LA ADMINISTRACIÓN PÚBLICA EN MÉXICO

Este modelo requeriría de la identificación de los costos directos e indirectos del área en cuestión, para que el modelo de financiamiento refleje las dimensiones del problema. En nuestro ejemplo sobre la Diabetes, Barraza identifico costos directos de $179,495 millones de pesos (cifras del 2013). Como tal el financiamiento debería reflejar la magnitud del problema. La política de financiamiento establecería un porcentaje relevante a estos costos directos. Un financiamiento de solo el 2% con respecto a estos costos directos representaría $3,588 millones de pesos anuales ($180 millones de dólares americanos- cantidad similar a la dedicada por la Comunidad Europea para combatir este problema) para proyectos y programas científicos, de innovación y de vinculación con la Industria para el combate de la diabetes. El porcentaje del financiamiento se mantendría estable por un periodo mínimo de 5 años. Este financiamiento permitiría invertir en proyectos de gran ciencia que aceleren la búsqueda de soluciones. Por primera vez en México habría una asignación presupuestal que refleje la magnitud del problema enfrentado, que en si mismo, impactase favorablemente a los indicadores de reducción pobreza y desigualdad en el país. Esta política pública incluiría un mandato para la reasignación de recursos de otras entidades gubernamentales que puedan contribuir a la lucha. Por ejemplo, Convocatorias para Becas de Maestría y Doctorado en áreas de relevantes a los problemas de salud que enfrenta la población mas vulnerable en México.

C. REESTRUCTURACIÓN DE LA ADMINISTRACIÓN PÚBLICA PARA QUE RESPONDA A LOS RETOS IDENTIFICADOS Y MAXIMICE EL ÉXITO DE LAS POLÍTICAS PUBLICAS

La forma de organización de la actual administración pública para resolver problemas nacionales se compara a la tortura china para provocar la muerte de una política publica con mil cortadas. La administración pública utiliza la gestión de transversalidad para enfrentar problemas sociales de gran envergadura. De acuerdo con Serra (2004)[58] la transversalidad "… dar respuestas organizativas a la necesidad de incorporar temas, visiones, enfoques, públicos problemas objetivos,

[58] Serra, A. (2004). La gestión transversal: expectativas y resultados . IX Congreso Internacional del CLAD sobre la Reforma del Estado y de la Administración Pública, Madrid, España, 2 – 5 Nov. 2004 Albert Serra Agosto 2004, p. 4.

4. Victor.indd 117 12/17/19 16:34

etc. a las tareas de la organización que no encajan en una sola de las estructuras organizativas verticales e intenta también, que TODAS estas estructuras verticales compartan sinérgicamente la consecución de un objetivo común que no es específico de cada una de ellas en particular". En base a mi experiencia, la transversalidad de gestión o de programas funciona hasta un cierto punto siempre y cuando las agendas de las partes que la integran estén alineadas y el peso político específico sea balanceado. Pero en problemas complejos como la erradicación de la pobreza, estas condiciones son difíciles de lograr y la responsabilidad de los resultados se tiende a diluir entre las partes. Si el proyecto Apolo hubiese sido un programa transversal todavía estaríamos esperando llegar a la Luna. La única manera de asegurar que los objetivos del proyecto sean cumplidos es el tener una estructura orgánica (institucional) con atribuciones legales suficientes que respondan a este mandato. Como tal la creación, por ejemplo, de una secretaria para la erradicación de la pobreza sería indispensable, así como otras similares que sean creadas para enfrentar otros desafíos concretos como para mitigar y evitar los riesgos mayores relacionados al cambio climático.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los proyectos científicos, tecnológicos, de innovación y su vinculación con la industria solo pueden existir en un contexto que tenga significado para la sociedad. Sostengo el punto de vista que la sociedad no va a apoyar políticas públicas, ni modelos de financiamiento ambiciosos que no tengan un propósito económico o social viable y visible y que vayan dirigidos específicamente a resolver los problemas de carácter nacional que le competen a la propia sociedad. La búsqueda en el vacío social de incrementos en el presupuesto en ciencia y tecnología son estériles si no se liga esta demanda de recursos a proyectos prioritarios. Las políticas de apoyo a la gran ciencia o a otras áreas de producción de conocimiento y a la industria tienen que verse como un instrumento de desarrollo económico y social. La vinculación ciencia, tecnología, innovación e industria solo se va a dar cuando estas colaboren conjuntamente, desde un inicio, a resolver estos problemas. Esto les va a generar credibilidad y un capital político para extender este modelo a otras áreas. La época de tener organizaciones públicas por función se ha acabado. Las nuevas organizaciones publicas que nazcan de este modelo tendrán la obligación que responder a desafíos concretos impuestos y serian evaluadas por la sociedad en relación con su capacidad para resolver estos problemas.

4. Victor.indd 118 12/17/19 16:34

RECOMENDACIONES

La implementación de un modelo de financiamiento que de manera coherente incluya a la ciencia, la innovación, la tecnología y la industria para que enfrenten un problema social definido, en base a los siguientes pasos:

a) La creación de organizaciones especificas para enfrentar el problema social en cuestión con las facultades legales necesarias para hacerlo de manera eficaz y eficiente
b) La estimación de los gastos directos e indirectos del problema en cuestión
c) El financiamiento de la organización y sus programas por un periodo mínimo de 5 años en base a un porcentaje determinado emanado de los gastos directos e indirectos calculados
d) La capacidad de la organización que sea creada con este fin concreto para definir políticas públicas que rijan en otros sectores que por diferentes razones estratégicas, administrativas y/o legales, no pudieron ser incorporadas a esta nueva organización
e) La creación de una entidad independiente para evaluar y auditar los resultados obtenidos por la nueva organización

Una nueva realidad demanda un nuevo paradigma. Tenemos que adaptar nuestras estrategias para crear la posibilidad de crear un México mejor, más justo, más igualitario y sabio.

Anexo 1
Ejemplos de investigaciones sobre Diabetes utilizando Fuentes de Luz Sincrotrón

2018	*Sincrotrón*
Takiyama, Y.; Sera, T.; Nakamura, M.; Ishizeki, K.; Saijo, Y.; Yanagimachi, T.; Maeda, M.; Bessho, R.; Takiyama, T.; Kitsunai, H.; et al. **Impacts of Diabetes and an SGLT2 Inhibitor on the Glomerular Number and Volume in db/db Mice, as Estimated by Synchrotron Radiation Micro-CT at SPring-8.** EBioMedicine 2018, 36, 329–346. [CrossRef] [PubMed]	Japan- Spring -8

Continúa...

4. Victor.indd 119 12/17/19 16:34

2018	*Sincrotrón*
Rajesh Katare, James T. Pearson , Jason Kar-Sheng Lew , Melanie Wei1 , Hirotsugu Tsuchimouchi , Cheng-Kun Du, Dong-Yun Z **Progressive Decrease in Coronary Vascular Function Associated with Type 2 Diabetic Heart Disease**. Frontiers in Physiology | www.frontiersin.org 1 June 2018 | Volume 9 | Article 696	Japan- Spring -8
Aboualizadeh,E., Sorenson, C.M., Schofield, A.J., Unger, M., Sheibani,N., Hirschmugl, C.J. (2018) **Temporal diabetes-induced biochemical changes in distinctive layers of mouse retina. Scientific Report s** volume **8, Article number: 1096 (2018) |**	Sincrotrón Australiano

4. Victor.indd 120 12/17/19 16:34

Estrategias para impulsar el desarrollo tecnológico: una asignatura pendiente para México

Brenda Valderrama Blanco*

SUMARIO

I. Introducción II. Alcance de las políticas científicas y tecnológicas III. La ciencia y la tecnología como políticas de Estado IV. Consolidación del marco jurídico para la ciencia, tecnología e innovación en México V. Evolución de la política tecnológica en México VI. Conclusiones

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de tecnología propia impacta directamente a la economía de un país al generar condiciones para la sofisticación de los sectores industriales, la diversificación económica, la independencia tecnológica y el superávit comercial. Una política tecnológica clara y bien definida asegura que un país genere conocimiento, que incentive la inversión privada y que mejore su competitividad en un entorno global. En este capítulo haremos un análisis de las diferentes políticas científicas y tecnológicas que se han implementado en México en el periodo 1985-2018, su impacto económico así como la situación actual, con base en los Planes Nacionales de Desarrollo, en los Programas Sectoriales y en las Leyes de Ciencia y Tecnología.

II. ALCANCE DE LAS POLÍTICAS CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS

Las políticas públicas constituyen el programa de acción de una administración presentado como un conjunto de prácticas y de normas para la atención de un sector específico de la sociedad o de un espacio geográfico delimitado. El fin último de cualquier política pública será la modificación del sector o espacio objetivo.

* Instituto de Biotecnología. Universidad Nacional Autónoma de México.

5. Brenda.indd 121 12/17/19 16:34

Se confiere al Estado el impulso y reforzamiento de las políticas públicas toda vez que es necesario que alguien se responsabilice de su cumplimiento hasta que las modificaciones sean internalizadas por la sociedad.

Una demanda pública no atendida generará un problema público que, a su vez, deberá ser atendido por una política pública. Las demandas públicas provienen de cualquier sector de la sociedad, podrán ser sociales, políticas o económicas. Subsecuentemente, se pueden desagregar otras como las científicas y las tecnológicas que son el tema de esta publicación.

Mientras que la política tecnológica impacta directamente a la economía nacional al generar condiciones para la diversificación económica, la sofisticación de los sectores industriales, la independencia tecnología y el superávit comercial, la política científica tiene como objetivos elevar la educación científica de la sociedad, la formación de personal especializado así como la generación de conocimiento, temas más cercanos a los ámbitos educativo o social. La profunda interrelación que existe entre la ciencia y la tecnología hace indisolubles sus análisis.

III. LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA COMO POLÍTICAS DE ESTADO

La actividad científica es identificada por primera vez en el artículo 3o de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en 1980 junto con el reconocimiento a la autonomía universitaria. Para 1993 queda inscrita, en el marco de las obligaciones del estado en materia de educación, la de apoyar la investigación científica y tecnológica. Esta redacción ha sido modificada posteriormente dando lugar a la fracción V vigente a la fecha: "Toda persona tiene derecho a gozar de los beneficios del desarrollo de la ciencia y la innovación tecnológica. El Estado apoyará la investigación e innovación científica, humanística y tecnológica, y garantizará el acceso abierto a la información que derive de ella, para lo cual deberá proveer recursos y estímulos suficientes, conforme a las bases de coordinación, vinculación y participación que establezcan las leyes en la materia; además alentará el fortalecimiento y difusión de nuestra cultura."

IV. CONSOLIDACIÓN DEL MARCO JURÍDICO PARA LA CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN EN MÉXICO

La Ley para Coordinar y Promover el Desarrollo Científico y Tecnológico promulgada en 1985 establece los principios rectores de la política científica y tecnológica para nuestro país y permanece vigente hasta 1999, periodo caracterizado por el reforzamiento de criterios de calidad en la administración pública federal, en particular la planeación y la evaluación.

5. Brenda.indd 122 12/17/19 16:34

La Ley define el concepto de Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología (SNCyT) el cual comprende aquellas dependencias y entidades de la administración pública federal participantes en el proceso de generación y aplicación del conocimiento científico y tecnológico así como las instituciones de los sectores social y privado.

También crea la Comisión para la Planeación del Desarrollo Tecnológico y Científico dándole como función principal el diseño y ejecución de la política de desarrollo científico y tecnológico para la solución de los grandes problemas nacionales. Finalmente establece la obligación del Gobierno Federal de emitir un Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico y Científico cuya elaboración queda a cargo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT).

La política científica y tecnológica expresada en el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 1984-1988 tuvo como propósito aumentar la autodeterminación tecnológica del país integrando la investigación científica al caudal de recursos nacionales para la solución de los problemas de todos los sectores. Sus objetivos generales fueron ofrecer soluciones científicas y técnicas a los problemas económicos y sociales del país, prever las necesidades sociales y los cambios tecnológicos futuros para investigar con mayor intensidad en las áreas del conocimiento más promisorias para el desarrollo nacional, coadyuvar al desarrollo regional y descentralización de las actividades productivas y crear conciencia sobre la naturaleza de la ciencia y la tecnología y su importancia para el país.

En el PND 1989-1994 se reconoce el papel central de la modernización tecnológica para consolidar y mantener en el mediano y largo plazos la competitividad internacional de la economía mexicana y mejorar la calidad de vida de la población. El contexto para esta orientación proviene de la apertura de la economía mexicana mediante la suscripción de diferentes tratados de libre comercio asignando un papel estratégico a las exportaciones no petroleras.

El Programa Nacional de Ciencia y Modernización Tecnológica 1990-1994 plantea una estrategia general dirigida a incrementar los niveles de calidad del SNCyT mediante la creación de condiciones e incentivos que impulsen a las unidades productivas a integrarse a los procesos mundiales de cambio tecnológico y a hacer de la innovación tecnológica un elemento central para competir con ventaja en el cambiante contexto de la nueva economía global.

En el diagnóstico se reconoce que no se han obtenido los resultados esperados de la inversión pública en ciencia y tecnología concluyendo que no basta aumentar los recursos asignados si no se le acompaña de una decidida modernización de las instituciones y procedimientos. Además reconoce la importancia de incrementar la participación de la inversión privada en el sector proponiendo el establecimiento de incentivos mediante mecanismos de "fondos aparejados" que fomenten la vinculación academia-empresa.

5. Brenda.indd 123 12/17/19 16:34

Los objetivos de la política científica para el periodo 1990-1994 fueron mejorar y ampliar la formación de recursos humanos para la ciencia y la tecnología, articular la actividad científica del país con las corrientes mundiales del conocimiento y contribuir al entendimiento de la realidad y de los problemas nacionales en las diversas áreas de la actividad científica. Por su lado, la política tecnológica tendría como objetivos elevar la capacidad tecnológica del país para atender a las demandas de bienestar de la población, asegurar la participación complementaria de los productores y del gobierno en el desarrollo tecnológico del país y apoyar, con tecnologías modernas y adecuadas a las condiciones del país, la prestación eficiente de los servicios sociales de salud, educación, y los relacionados con la vivienda, así como la protección y mejoramiento del medio ambiente y la seguridad frente a catástrofes naturales.

En 1993 se funda el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial IMPI sectorizado a la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial con el objetivo brindar apoyo técnico y profesional a la autoridad administrativa así como proporcionar servicios de orientación y asesoría a los particulares para lograr un mejor aprovechamiento del sistema de propiedad industrial. Por la importancia de la academia como generador de conocimiento susceptible de protección industrial, la persona a cargo de la Dirección General del CONACyT es designada vocal de la junta directiva del IMPI.

El Plan Nacional de Desarrollo 1995-2000 señala que, en el contexto de la globalización, es imperativo que nuestro país adquiera mayor capacidad para participar en el avance científico mundial y transformar estos conocimientos en aplicaciones útiles, sobre todo en materia de innovación tecnológica. Esto implica que el país posea un sólido aparato de investigación básica y aplicada y, de manera especial, una planta de científicos altamente calificada en todas las disciplinas. Asimismo, se consideró necesario elevar la capacidad del aparato productivo para innovar, adaptar y difundir los avances tecnológicos con el fin de aumentar su competitividad.

El Programa de Ciencia y Tecnología 1995-2000 tuvo como objetivo esencial fomentar el desarrollo científico y tecnológico del país. Mientras que en el campo de la ciencia consideró necesario promover que todo el sistema científico nacional alcanzara los niveles de calidad y profesionalismo de los mejor grupos científicos del país, en el campo de la tecnología considera de gran importancia generar en las empresas productivas nacionales verdadero interés y capacidad por crear y absorber conocimientos técnicos nuevos.

En lo relativo a su política tecnológica, el Programa considera imprescindible que el Gobierno asuma un papel de catalizador en áreas donde el mercado no existe o funciona insatisfactoriamente, como son el acopio y diseminación de la información, la introducción inicial de nuevas tecnologías y el financiamiento de

5. Brenda.indd 124 12/17/19 16:34

la investigación y desarrollo. Reconoce que la aportación privada del 9.2% al gasto nacional de investigación y desarrollo experimental (GIDE) es menor a lo deseable por lo que se buscará incentivar a todas las empresas, independientemente de su tamaño, la inversión con este fin.

Los objetivos de la política tecnológica del Programa fueron: Estimular la capacidad empresarial para aprender nuevas tecnologías, crear nuevos productos y adaptarse a los cambios de mercados, promover el aumento de la calidad y fomentar actitudes positivas frente a la medición y el cumplimiento de normas precisas. Impulsar la vinculación entre la investigación orientada y las empresas, así como la participación de las universidades en la gestión tecnológica, procurar que se perfeccione la capacidad de diseño y de realización técnica de las empresas, apoyar la implantación de nuevas técnicas en todo el aparato productivo y contribuir a facilitar el acceso al mercado financiero de las empresas que deseen llevar a cabo algún proceso innovador.

Las líneas de acción en este sentido serían coordinadas por la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial en colaboración con el CONACyT consistiendo en el fomento de la asimilación y difusión de nuevas tecnologías así como el incremento de la inversión privada en investigación tecnológica y vinculación mediante el establecimiento o mejora de diferentes fondos como, por ejemplo, el Fondo de Investigación y Desarrollo para la Modernización Tecnológica FIDETEC. De manera relevante se puntualiza en el Programa la participación de todas y cada una de las entidades del gobierno federal que realizan investigación de forma que se mejoren la orientación de los esfuerzos así como la eficiencia del gasto.

La Ley para Coordinar y Promover el Desarrollo Científico y Tecnológico fue derogada en 1999 ante la publicación de la Ley para el Fomento de la Investigación Científica y Tecnológica. El mismo día se establece el cambio de sector del CONACyT de la Secretaría de Programación y Presupuesto a la de Educación Pública.

Entre los aspectos relevantes de la nueva Ley se encuentran el reconocimiento a la obligación del Estado de "apoyar la investigación científica y tecnológica" armonizando con la redacción del artículo 3 Constitucional fracción V vigente en esa fecha. Se enlistan siete instrumentos para apoyar la investigación científica y tecnológica y que contemplan desde el acceso a la información científica y tecnológica, el otorgamiento de recursos para investigación científica y tecnológica dentro del presupuesto de las universidades e instituciones de educación superior a las que la Ley otorgaba autonomía, la creación, financiamiento y operación de fondos específicos así como la elaboración o gestión de programas educativos, estímulos fiscales, financieros, facilidades en materia administrativa y de comercio exterior y regímenes de propiedad industrial e intelectual.

5. Brenda.indd 125 12/17/19 16:34

En esta misma Ley se emiten los Principios Orientadores del Apoyo a la Actividad Científica y Tecnológica, más dirigidos a la generación de conocimiento que a la solución de los grandes problemas nacionales en contraste con la Ley de 1985. Igualmente se contempla y se regula por primera vez la concurrencia de inversión pública y privada para este fin.

Se rediseña el Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación PECITI para ser el documento que fije la política general de apoyo a la ciencia y la tecnología la cual debería venir sustentada con diagnósticos, políticas, estrategias y acciones prioritarias. Se establece que todas las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal que ejerzan recursos para investigación científica y tecnológica deberán armonizar sus políticas sectoriales con la general.

Se definen igualmente los principios que regularían la vinculación con el sector productivo para la innovación y el desarrollo tecnológico incluyendo la creación de instrumentos específicos de coinversión para este fin, buscando de manera prioritaria el beneficios de las micro y pequeñas empresas nacionales. Igualmente se emiten los lineamientos generales bajos los cuales operaría el sistema de Centros Públicos de Investigación los cuales son dotados de facultades para la vinculación con la industria.

Con la transición democrática del año 2000 se reformulan muchas políticas públicas incluyendo la científica quedando plasmadas en el Plan Nacional de Desarrollo 2001-2006 donde se considera al desarrollo científico y tecnológico un motor de cambio social y progreso económico en el mundo contemporáneo. Sin embargo, se identifica que el sistema nacional de investigación no se ha articulado adecuadamente con las necesidades sociales y productivas del país existiendo, además, enormes diferencias regionales en cuanto a la operación, aplicación y desarrollo de conocimientos para el mejoramiento general de la población.

Se menciona también en el diagnóstico que la desvinculación impacta la relación entre la academia y la industria básicamente por el reducido interés del sector privado y de la industria por la generación del conocimiento. Por otra parte, la limitada capacidad nacional para la innovación tiene como consecuencia que las empresas tiendan a comprar tecnología incorporada y no incorporada, en lugar de intentar desarrollarla en el país. Conforme a lo anterior, se tiene un grupo de científicos que concentran su esfuerzo fundamentalmente en investigación básica y aplicada, y empresas nacionales que compran la tecnología en el exterior, por lo que un gran problema es que no existe una vinculación entre la oferta y la demanda de conocimientos científicos y tecnológicos

La experiencia económica comparativa muestra que el esfuerzo en investigación y desarrollo científico y tecnológico se traduce en ventajas competitivas reales para los sectores y las economías que aceptan este reto. Aunque el gasto en investigación y desarrollo registró un crecimiento real de 28% entre 1997 y

5. Brenda.indd 126 12/17/19 16:34

1999, y como proporción del producto interno bruto pasó de 0.34 a 0.40%, esta cifra es menor que el promedio registrado por los países con los que tenemos más relaciones comerciales.

Uno de los avances importantes es la incorporación del concepto de desarrollo sustentable incluyendo la generación de procesos productivos y tecnologías limpios. Aunque más estructurado que los anteriores, el PND 2001-2006 carece todavía de indicadores y metas con lo que se dificulta apreciar los alcances de la inversión pública.

El PECITI 2001-2006 presenta, por primera vez, una visión a largo plazo donde se plantea que el país pudiera estar invirtiendo para el 2025 más del 2% del PIB en actividades de investigación y desarrollo experimental (GIDE) y que mediante todo un conjunto de esfuerzos el país fuera una de las diez economías más importantes el mundo y miembro del grupo de los 20 mejores en ciencia y tecnología. En ese contexto, la visión para el 2006 fue que México tuviera una mayor participación en la generación, adquisición y difusión del conocimiento a nivel internacional y la sociedad aumente considerablemente la cultura científica y tecnológica disfrutando de los beneficios derivados de ésta. El progreso científico y tecnológico debería estar incorporado a los procesos productivos del país, acelerando así su crecimiento económico.

Para lograr esto se despliegan tres objetivos estratégicos que son: Disponer de una política de Estado en ciencia y tecnología, Incrementar las capacidades científicas y tecnológicas del país y Elevar la Competitividad y la innovación de las empresas. En este último objetivo las estrategias consisten en: Incrementar la inversión del sector privado en investigación y desarrollo, Promover la gestión tecnológica en las empresas, Promover la incorporación de personal científico-tecnológico de alto nivel en las empresas y Fortalecer la infraestructura orientada a apoyar la competitividad y la innovación de las empresas, esto mediante el uso de los siguientes instrumentos: Programa Especial de Ciencia y Tecnología, Sistema Integrado de Información sobre Investigación Científica y Tecnológica, Sistema Nacional de Centros Públicos de Investigación, Esquema de Incentivos al GIDE del Sector Privado, y Fondos Concurrentes.

Con base en una serie de criterios de valoración, se determina que las áreas estratégicas del conocimiento serán: las tecnologías de la información y comunicación, la biotecnología, los materiales, el diseño y procesos de manufactura, la infraestructura y el desarrollo urbano y rural, incluyendo sus aspectos sociales y económicos. Se considera del más alto interés que estás áreas del conocimiento se orienten a atender la satisfacción de la población más necesitada, en particular la localizada en las microrregiones y en las pequeñas y medianas empresas. Igualmente se pone atención, por primera vez, en la realización de acciones encaminadas a mujeres, personas con discapacidad, grupos indígenas y migrantes.

5. Brenda.indd 127 12/17/19 16:34

De manera muy importante, el PECITI 2001-2006 fue el primero publicado que presenta indicadores y metas.

La Ley para el Fomento de la Investigación Científica y Tecnológica promulgada en 1999 fue sustituida en el 2002 por la Ley de Ciencia y Tecnología, vigente a la fecha, preservando aspectos fundamentales como son los Principios Orientadores del Apoyo a la Actividad Científica y Tecnológica pero con importantes adiciones como son el establecimiento de las bases de una política de Estado que sustente el SNCyT: incremento de cuadros especializados y capacidades científicas; promoción del desarrollo y la vinculación entre ciencia básica e innovación tecnológica; incorporación del desarrollo tecnológico y la innovación al sector productivo; integración del esfuerzo de generadores y usuarios del conocimiento; fortalecimiento del desarrollo regional; y promoción de los procesos necesarios para la asignación de recursos para el cumplimiento de la Ley.

También crea la Ley el Consejo General de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico presidido por el Presidente de la República junto con los titulares de las Secretarías de Relaciones Exteriores, Hacienda y Crédito Público, Medio Ambiente y Recursos Naturales, Energía, Economía, Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Comunicaciones y Transportes, Educación Pública, Salud, el Director General del CONACyT en su carácter de Secretario Ejecutivo del mismo Consejo, y el Coordinador General del Foro Consultivo Científico y Tecnológico. Además contará con cuatro miembros que se renovarán cada tres años invitados por el Presidente de la República a propuesta del Secretario Ejecutivo. Es el Consejo General el órgano máximo de decisión para la política científica nacional.

Recupera el concepto de SNCyT que, habiendo sido definido originalmente en la Ley de 1985 desaparece de la de 1999, con lo que se incorporan al mismo la política de Estado en la materia que defina el Consejo General; el Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación así como a otros programas sectoriales y regionales; los principios orientadores e instrumentos legales, administrativos y económicos de apoyo a la investigación científica, desarrollo tecnológico e innovación; y a las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal; las instituciones de los sectores social y privado igual que gobiernos de las entidades federativas que realicen o promuevan la investigación científica, el desarrollo tecnológico y la innovación; así como la Red Nacional de Grupos y Centros de Investigación.

Crea la Conferencia Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación conformada por el Director General del Conacyt y los titulares de las dependencias de las entidades federativas responsables del área como un instrumento para la descentralización.

5. Brenda.indd 128 12/17/19 16:34

Sustituye al Foro Permanente de Ciencia y Tecnología como órgano de consulta del poder ejecutivo por el Foro Consultivo Científico y Tecnológico ampliando de cuatro a catorce sus instituciones miembros e incluyendo, por primera vez de manera regular, al sector tecnológico representado por la Academia de Ingeniería, la Cámara Nacional de la Industria de la Transformación, la Confederación Patronal de la República Mexicana, la Confederación de Cámaras Industriales y la Asociación Mexicana de Directivos de la Investigación Aplicada y del Desarrollo Tecnológico. Finalmente, formaliza y regula la emisión de estímulos fiscales para empresas que acrediten su inversión en proyectos de investigación científica, tecnológica y de innovación.

En los años subsecuentes a su publicación y hasta la fecha de elaboración de este documento, la Ley de Ciencia y Tecnología ha sido modificada en nueve ocasiones destacando los siguientes cambios:

1) Se inscribe en el Artículo 9 Bis la obligación del Estado de invertir en actividades de investigación científica y desarrollo tecnológico en al menos el equivalente al 1% del producto interno bruto. Esta directiva se alinea con la recomendación de la UNESCO que busca fortalecer la generación de conocimiento y el desarrollo de tecnología.
2) Se crea en el Artículo 41 el Comité Intersectorial para la Innovación integrado por el titular de la Secretaría de Economía quien lo presidirá, el Director del Conacyt quién ocupará la vicepresidencia y el titular de la Secretaría de Educación Pública. Serán invitados permanentes el Coordinador General del Foro Consultivo Científico y Tecnológico, los representantes ante el Consejo General del Sistema Nacional de Centros de Investigación y los representantes de los sectores productivo y académico que se consideren pertinentes, según se establezca en el reglamento respectivo, quienes asistirán con voz pero sin voto. El objetivo de este Comité es la elaboración del Programa de Innovación desde el cual se establecerán las políticas y lineamientos para la operación de los fondos específicos.
3) Se asientan en el Artículo 51 los lineamientos para regular la vinculación de las instituciones de educación, los Centros Públicos de Investigación y las entidades de la Administración Pública con los sectores social y privado facilitando la transferencia de conocimiento y de tecnología preservando los derechos de todos los participantes.

El primer Plan Nacional de Desarrollo que se redacta bajo el mandato de la Ley de Ciencia y Tecnología del 2002 fue el del periodo 2007-2012 el cual se caracteriza por incorporar de manera explícita el tema de la sustentabilidad como

5. Brenda.indd 129 12/17/19 16:34

un eje rector transversal siendo muy evidente esta visión en los apartados correspondientes a los temas de ciencia, tecnología e innovación que se detallan a continuación. De manera consistente con la administración inmediata anterior, se le da un énfasis importante al impacto de la ciencia en el desarrollo económico a través de la innovación pero sin olvidar la obligación del gobierno en cuanto a mejorar la cultura científica de la sociedad.

En el diagnostico del sector se identifica que para lograr el objetivo de detener el deterioro del medio ambiente es fundamental que se invierta significativamente en investigación y desarrollo de ciencia y tecnología. Igualmente, se considera que la elevación de la competitividad dependerá de manera importante de la capacidad del país para generar y asimilar tecnología de punta con lo que se justifica la inversión dirigida a elevar el nivel de educación en general y al fortalecimiento del sector científico en lo particular. De manera importante, se identifica la necesidad de incrementar la inversión privada en actividades de ciencia, tecnología e innovación por lo que se generarán instrumentos que la fomenten privilegiando la vinculación con instituciones de educación superior y centros e institutos de investigación.

Los tres ejes del PND 2007-2012 donde se concentrará la inversión en ciencia, tecnología e innovación son Sustentabilidad Ambiental, Economía competitiva y generadora de empleos e Igualdad de oportunidades. Mientras que en el primero las estrategias están dirigidas a la investigación científica orientada a mejorar el conocimiento de los ecosistemas y al desarrollo de tecnologías limpias incluyendo las energías renovables, el segundo busca profundizar y facilitar los procesos de investigación científica, la adopción y la innovación tecnológica para incrementar la productividad de la economía nacional con énfasis en los sectores agrícola y energético, el tercero y último busca consolidar la investigación en salud vinculada a la generación de patentes y al desarrollo de la industrial nacional.

En lo general, el PECITI 2008-2012 es el primer programa donde se fusionan la política con la tecnológica y comparte con programas anteriores la visión de que la ciencia y la tecnología, además de ser elementos fundamentales para el desarrollo social y científico, impactan fuertemente en la competitividad nacional y por lo tanto deberá orientarse su asimilación dentro del sector empresarial. Igualmente considera que los esfuerzos para descentralizar los beneficios de la ciencia, la tecnología y la innovación han sido insuficientes por lo que propone fortalecer los instrumentos creados para ese fin como son los Fondos Mixtos y Fondos Sectoriales.

Con una visión de largo plazo, se delinean cuatro fases de desarrollo: I) Fortalecimiento de capacidades en ciencia y tecnología; II) Desarrollo rápido; III) Consolidación competitiva; IV) Madurez del Sistema Nacional de Ciencia, Tec-

5. Brenda.indd 130 12/17/19 16:34

nología e Innovación. El detonador y principal incentivo para esta estrategia es la inversión, tanto pública como privada, que requiere elevarse del nivel inicial hasta alcanzar el 3% del PIB del cual la iniciativa privada colaboraría con el 50%.

Los Objetivos del PECITI 2008-2012 son: Establecer políticas de Estado a corto, mediano y largo plazo que permitan fortalecer la cadena educación, ciencia básica y aplicada, tecnología e innovación, buscando generar condiciones para un desarrollo constante y una mejora en las condiciones de vida de los mexicanos; Descentralizar las actividades científicas, tecnológicas y de innovación con el objeto de contribuir al desarrollo regional, al estudio de las necesidades locales, y al desarrollo y diseño de tecnologías adecuadas para potenciar la producción de las diferentes regiones del país; Fomentar un mayor financiamiento de la ciencia básica y aplicada, la tecnología y la innovación; y Aumentar la inversión en infraestructura científica, tecnológica y de innovación.

Este es el primer Programa que desarrolla una matriz de indicadores de impacto mediante la aplicación de la metodología del Marco Lógico. Dentro de las prioridades se identifican las siguientes áreas científico-tecnológicas: Biotecnología, Medicina, Energía, Medio ambiente, Tecnologías industriales de fabricación, Materiales, Nanotecnología, Tecnologías de información y telecomunicaciones, Matemáticas aplicadas y modelación. Lo anterior para impulsar ramas industriales como son: Alimentaria y agroindustrial, Aeronáutica, Automotriz y de autopartes, Eléctrica y electrónica, Farmacéutica y ciencias de la salud, Metalurgia, Metalmecánica y bienes de capital, y Química y Petroquímica.

Igualmente, este Programa identifica con mayor precisión las aportaciones que en ciencia, tecnología e innovación se realizarán en otras áreas del gobierno federal articulando las secciones pertinentes de los Programas Sectoriales de Educación, de Energía, de Desarrollo Agropecuario y Pesquero, de Salud, de Medio Ambiente y Recursos Naturales, de Economía, de Comunicaciones y Transportes, y de Marina. Cabe hacer notar que la mayoría de los titulares de las dependencias mencionadas participan como vocales del Consejo General de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico presidido por el Presidente de la República.

El Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 identifica en su diagnóstico que no estamos aprovechando al máximo nuestra capacidad intelectual dentro el mercado global del conocimiento: México contribuye con menos del 1% a la producción global del conocimiento; tenemos un décimo del número de investigadores que debiera haber de acuerdo a lo observado en otros países; es insuficiente el número de doctores graduados por millón de habitantes; solamente el 7.6% de las patentes registradas en nuestro país provienen de connacionales; la inversión privada en investigación científica y desarrollo tecnológico es de las más baja entre países miembros de la OCDE; el SNCyT se encuentra desarticulado; el capital

5. Brenda.indd 131 12/17/19 16:34

semilla y de riesgo para incentivar la generación de empresas de base tecnológica es escaso; finalmente, se requiere consolidar la continuidad y disponibilidad de los apoyos necesarios para que los investigadores en México puedan competir en circuitos internacionales.

Al igual que en los PND anteriores, se identifica claramente que el punto crítico para alcanzar las metas deseables en ciencia, tecnología e innovación es un GIDE mínimo equivalente al 1% del PIB. Resalta la falta de vinculación entre los sectores que pudiera ser la causa de la baja inversión privada. En respuesta, se propone un Plan de acción que articule la educación, la ciencia y el desarrollo tecnológico para lograr una sociedad más justa y próspera. Igualmente se plantea que para abastecer al país de energía con precios competitivos, calidad y eficiencia es necesario fortalecer el desarrollo de la ciencia y la tecnología en temas prioritarios para el sector energético.

Las estrategias para la política científica son: contribuir a que la inversión nacional en investigación científica y desarrollo tecnológico crezca anualmente y alcance un nivel de 1% del PIB; a la formación y fortalecimiento del capital humano de alto nivel; al desarrollo de las vocaciones y capacidades científicas, tecnológicas y de innovación locales, para fortalecer el desarrollo regional sustentable e incluyente; a la transferencia y aprovechamiento del conocimiento, vinculando a las instituciones de educación superior y los centros de investigación con los sectores público, social y privado; y al fortalecimiento de la infraestructura científica y tecnológica del país.

Para la política tecnológica las estrategias son solamente dos: reactivar una política de fomento económico enfocada a incrementar la productividad de los sectores dinámicos y tradicionales de la economía mexicana, de manera regional y sectorialmente equilibrada así como impulsar a los emprendedores y fortalecer a las micro, pequeñas y medianas empresas. El PND 2013-2018 presentó indicadores consolidados siendo el de Competitividad Global el aplicable a los temas de CTI aunque sin comprometer un resultado. Este indicador utiliza los datos del Índice de Competitividad Global publicado por el Foro Económico Mundial de forma anual.

El PECITI 2014-2018 se armoniza con el Plan Nacional de Desarrollo en cuanto a una visión global donde los indicadores no solo se comparan con lo alcanzado en administraciones anteriores sino que se comparan los mismos datos de otros países. En lo financiero, disocia por primera vez los indicadores de gasto en Gasto en Investigación y Desarrollo Experimental GIDE y Gasto Nacional en Ciencia, Tecnología e Innovación. El primero comprende la inversión destinada a la realización de proyectos de investigación básica o aplicada de diversas fuentes incluyendo gobiernos, empresas, IES, instituciones privadas sin fines de lucro y sec-

5. Brenda.indd 132 12/17/19 16:34

tor externo. El segundo comprende al GIDE más la inversión total en educación de posgrado, servicios científicos y tecnológicos e innovación. En este sentido, el diagnóstico identifica un estancamiento en la inversión pública en investigación y desarrollo experimental alrededor del 0.4% del PIB en 2012, muy por debajo de la recomendación de la OCDE, así como una baja tasa de participación del sector privado.

El diagnóstico hace énfasis en la situación de los Centros Públicos de Investigación como una manera de fortalecer la infraestructura y promover el trabajo colaborativo y multi-institucional aunque identifica la necesidad de crear nuevos laboratorios nacionales, regionales y universitarios. De manera muy importante, acusa un claro rezago en el desarrollo regional y propone fortalecer cada una de las entidades federativas de acuerdo a sus capacidades, vocaciones y necesidades mediante la aplicación de políticas públicas diferenciadas.

El Programa propone el cumplimiento de la meta nacional "Hacer del desarrollo científico, tecnológico y la innovación pilares para el progreso económico y social sostenible" mediante el despliegue de cinco estrategias y doce indicadores, alrededor de los cuales se vinculan 13 diferentes Programas Sectoriales entre los que se encuentran Educación, Gobernación, Relaciones Exteriores, Desarrollo Innovador, Energía y Salud, entre otros.

V. EVOLUCIÓN DE LA POLÍTICA TECNOLÓGICA EN MÉXICO

La política industrial mexicana estuvo marcada por tendencias proteccionistas desde finales del siglo XIX hasta muy avanzado el siglo XX. El razonamiento subyacente fue estimular el desarrollo de una planta de producción local anclada en un mercado cautivo en expansión. Desde 1940 hasta 1970 la estrategia se desplegó dentro de un marco de política financiera estabilizadora de largo plazo que preservó el tipo de cambio y un crecimiento anual del PIB superior al 6% basado en la industria nacional de bienes de consumo no duradero.

Esta política tuvo consecuencias sociales y económicas funestas ya que no sirvió para generar empleos, se incrementó la inequidad en los ingresos entre la población rural y urbana y se desatendió la producción de bienes de capital con la consecuente falta de estímulo para el desarrollo de tecnología propia.

A pesar del avance logrado con la creación del CONACyT como entidad coordinadora del sector, para 1980 el desarrollo del sistema científico y tecnológico nacional no había alcanzado el ritmo que se esperaba. Esto debido a debilidades jurídicas y funcionales que impedían superar cinco niveles de disonancia: 1) se carecía de mecanismos de cooperación internos, nacionales e internacionales, 2) la transferencia de tecnología ocurría de manera inadecuada, 3) existía un

5. Brenda.indd 133 12/17/19 16:34

déficit de profesionales de la investigación, 4) la inversión pública en ciencia, tecnología e innovación era insuficiente, 5) no existía mecanismos niveladores entre diferentes áreas del conocimiento.

La crisis económica de 1982 llevó al desmantelamiento de la política proteccionista y se abrieron las fronteras incrementándose la importación de bienes de capital del 47 al 55% en perjuicio de una incipiente industria nacional. Este es el entorno en el cual se expide la primera política científica y tecnológica del país en 1984. En ese documento se expresa puntualmente: "La dependencia tecnológica es aún más grave, pues a la tecnología que se importa incorporada en los productos extranjeros debe sumarse la tecnología que se adquiere a través de la compra de patentes, marcas, suministros de conocimientos técnicos, asistencia técnica, ingeniería básica y de detalle, para fabricar los productos nacionales".

Para 1984 se han podido identifica los siguientes problemas: La casi nula efectividad mostrada en la práctica por los instrumentos de política tecnológica para normar en general las decisiones de las organizaciones productivas, y en particular para orientar progresivamente la demanda de ese insumo hacia el subsistema nacional de investigación. La insuficiencia cuantitativa o la incapacidad estructural de los agentes tecnológicos para colaborar con los centros de investigación locales y apoyarse cada vez más en ellos para la mejora de sus servicios. La inercia de la dependencia, que da a la tecnología extranjera más influencia que a la nacional sobre los agentes tecnológicos del subsistema de enlace investigación-producción.

La apertura económica generó un ambiente más competitivo dentro del país creando incentivos para la modernización de la industrial por lo que la política tecnológica pudo orientarse hacia la modernización económica del país con el propósito fundamental de recuperar el crecimiento sostenido de la actividad económica y del mejoramiento del nivel de bienestar de todos los mexicanos. De igual forma se esperaba que la política tecnológica propiciara la competitividad del aparato productivo nacional frente a una economía internacional cada vez más global y cambiante.

Reconociendo la necesidad de un apoyo decidido al desarrollo de tecnología se plantea una estrategia de transición recurriendo al uso de tecnologías existentes mediante procesos de asimilación y adaptación. Sin embargo, la necesidad de reconstruir y modernizar la infraestructura científica así como la de evitar la fuga masiva de investigadores se volvieron prioridades presupuestales después de que concluye la crisis de 1982.

Hacia 1985 se impulsó una política de desregularización que incluyó la desaparición del Registro Nacional de Transferencia de Tecnología cuyo objetivo original fue regular y controlar la adquisición de tecnología extranjera, esto en línea

5. Brenda.indd 134 12/17/19 16:34

con la posterior firma del GATT, la primera versión del tratado de libre comercio con Estados Unidos.

Para 1995 se detecta un cambio radical en la visión del gobierno ya que el Programa otorga mayor poder al CONACyT dentro de la estructura del SNCyT, dando prioridad a las necesidades del sector científico sobre el industrial, situación que no ha cambiado hasta la fecha y desvinculándolos a ambos de la política económica. Este desplazamiento se confirma en la Ley para el Fomento de la Investigación Científica y Tecnológica promulgada en 1999, más dirigida al desarrollo científico que al industrial, dividiendo su cumplimento entre la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial y el CONACyT.

Un indicio de este distanciamiento es que mientras que el Programa busca incentivar la oferta de servicios tecnológicos por parte de las universidades, el recientemente creado Sistema Nacional de Investigadores dirige ***de facto*** el esfuerzo científico del país a la publicación de artículos. Todo esto tuvo como consecuencia el debilitamiento del SNCyT que junto con la dispersión de los recursos entre las diferentes entidades del gobierno federal, la centralización y la baja participación de la inversión privada son reconocidos por la Ley de Ciencia y Tecnología promulgada en 2002 mediante el establecimiento de una serie de instrumentos para robustecer la gobernanza del SNCyT pero priorizando, de nuevo, la investigación científica.

El primer Programa emitido bajo el amparo de la Ley del 2002 refleja la necesidad de reforzar la articulación del SNCyT y aunque retoma como objetivo estratégico incrementar la competitividad el país reconoce la falta de incentivos para la inversión privada en desarrollo tecnológico pues solamente una de cada 10 mil empresas mexicanas es de vanguardia mientras que el 93% se encuentran a nivel emergente caracterizado por tener como objetivo principal su supervivencia.

Entre de los más de 150 programas de apoyo financiero a la industria existentes a finales de los años 90, solamente uno se refiere explícitamente a proyectos en investigación y desarrollo tecnológico, ofreciendo deducción del ISR de la inversión destinada a investigación y desarrollo tecnológico. Para el año 2000 este programa presentaba un subejercicio del 84%.

Como consecuencia de la preponderancia de la política científica sobre la tecnológica, en el PECITI 2001-2006 ya no se diferencia entre ellas reduciendo la segunda a incrementar la inversión del sector privado mediante esquemas de incentivos fiscales y de financiamiento conjunto. Adicionalmente propone promover la gestión tecnológica en las empresas, la creación de centros de servicios tecnológicos y la incorporación laboral a las misas de personal altamente especializado.

5. Brenda.indd 135 12/17/19 16:34

La segunda edición del Programa de Estímulos Fiscales a la innovación y al desarrollo tecnológico estuvo vigente a partir de 2001 con un crecimiento gradual comenzando con 142 beneficiarios hasta alcanzar 887 el 2006, año de su derogación, debida a numerosas inquietudes con respecto a los criterios de asignación de recursos.

Uno de los pocos programas que ha logrado resistir los cambios de administración es el Programa para el Desarrollo del Software PROSOFT, creado en 2004 con el objetivo de estimular el desarrollo del sector de tecnologías de información. Su permanencia se debe a un buen desempeño del programa que ha podido acreditar en múltiples evaluaciones el impacto en el valor de las empresas así como los empleos generados. Sin embargo, no hay que minimizar el esfuerzo que realiza la Cámara Nacional de la Industria Electrónica y de Tecnologías de la Información CANIETI la cual se ha convertido en una institución con notables capacidades de gestión. A partir de 2017 los fondos PROSOFT y FINNOVA se fusionan alimentando aún más al sector de las tecnologías de la información.

Para 2008 la inversión pública había fortalecido el SNCyT en su vertiente científica al incrementar de manera sistemática sus indicadores, sin embargo la brecha tecnológica se siguió ampliando de forma tal que resultaba imprescindible reforzar las condiciones para una mejor articulación dentro del SNCyT que permitiera acelerar la aplicación del conocimiento científico y tecnológico.

El SNCyT acusa una fractura en su gobernanza en el tema de innovación tal como se evidencia al ser necesaria la creación del Comité Intersecretarial y aunque la Secretaría de Economía y CONACyT colaboran en algunos programas como los Fondos de Innovación Tecnológica FIT y Sectorial de Innovación FINNOVA, también realizan inversiones independientes como son el Programa de Parques Tecnológicos de la Secretaría de Economía y el Programa de Estímulos a la Innovación PEI del CONACyT. A esto se suma, en el periodo 2012-2018, la participación del INADEM con dos convocatorias dirigidas a la innovación. De manera reciente, se restablecen los estímulos fiscales a grandes impresas que acrediten la inversión en investigación y desarrollo experimental sin que sea posible todavía valorar el impacto de dicha medida.

A pesar de la mención explícita en la Ley y luego ratificada por los diferentes PECITIs, el gasto Federal en Ciencia y Tecnología no superó nunca el 0.53% del PIB y desde el 2015 se encuentra en franco retroceso. Igualmente, la participación privada en el GIDE se ha deteriorado significativamente desde su primera medición en el 2007 hasta caer al 20% en el 2014. Se comienza a detectar una mejora marginal sin embargo el comportamiento no coincide con la inversión pública en el periodo para ese sector.

El único indicador que mantuvo un crecimiento constante durante el periodo de análisis fue el número de becarios de posgrado, que pasó de 4,618 en 1980

5. Brenda.indd 136 12/17/19 16:34

a 61,384 en 2017, sin embargo el número de investigadores por millón de habitantes alcanzó un máximo histórico de 404 en 2005 y desde entonces ha sufrido un decremento sistemático hasta llegar a 240 en 2012. Para 2013 se observa un leve repunte posiblemente debido al Programa de Cátedras del CONACyT. Sin embargo, la asimilación de investigadores en la planta industrial permanece marginal.

Desde 1990 hasta el año 2000, periodo durante el cual los Programas de Ciencia y Tecnología mantuvieron una visión de impacto eminentemente industrial, la exportación de bienes de alta tecnología se incremento de 8.6 a 22% del total al igual que su valor comercial que pasó de 962 a 31 mil millones de dólares anuales. Posteriormente a esa fecha el porcentaje de productos de alta tecnología exportados disminuyó hasta el 16% en 2018 aunque su valor comercial siguió en aumento, probablemente debido a la mayor sofisticación de las empresas involucradas, siendo los principales productos comercializados vehículos nuevos, pantallas planas y computadoras.

Con respecto a la Balanza de Pagos Tecnológica BPT el comportamiento histórico es negativo, es decir, que importamos más bienes de alta tecnología de los que exportamos. Sin embargo es posible observar una tendencia favorable en los últimos años pasando de -828 en 2008 a -170 en 2017.

Finalmente, el indicador maestro de la inversión en desarrollo tecnológico es la posición de México en el Reporte Global de Competitividad del Foro Económico Mundial donde hemos ganado doce posiciones desde el 2006 hasta alcanzar la 46 en 2018. Dentro del desglose del último reporte encontramos que nuestro país mejoró en 9 de 12 pilares con respecto al año anterior. México ocupa la posición 50 en el pilar de capacidad innovadora, mejorando en sus tres componentes con respecto al año anterior y que son: interacción y diversidad, investigación y desarrollo y comercialización. De los 13 subíndices, solamente destacamos en calidad de las instituciones de investigación con la posición 22 y en impacto de las publicaciones científicas con la posición 35. Este último dato es consistente con el énfasis que se ha dado a estos dos rubros en los Programas Sectoriales y en el presupuesto del CONACyT.

VI. CONCLUSIONES

El análisis presentado en este documento permite identificar tres etapas en la evolución de la política tecnológica en nuestro país. La primera etapa se caracteriza por el proteccionismo y abarca desde principios de siglo hasta mediados de los años 80. En este periodo la inversión en ciencia y tecnología fue escasa y dispersa entregándose los apoyos a los sectores industriales mediante acuerdos individuales. El crecimiento industrial es poco y esto se refleja en una baja pene-

5. Brenda.indd 137 12/17/19 16:34

tración de los bienes de capital en el cuadro de exportaciones. La importación de tecnología es tal que el gobierno considera necesario llevar un registro especial con la finalidad de controlarla y normarla.

La segunda etapa abarca de mediado de los años 80 hasta el año 2000 y se caracteriza por la elaboración de la primera política tecnológica del país donde se priorizan las necesidades del sector industrial dentro de los Programas de Ciencia y Tecnología. A pesar de la identificación explícita de la necesidad de incrementar el presupuesto del sector hasta el 0.7% del PIB éste no pasa del 0.34%, sin embargo es posible ver un incremento sustancial en las exportación de productos de alta tecnología así como en su valor comercial concurrente al alineamiento de las políticas científica y tecnológica con la económica.

La tercera etapa comienza en 1999 con la promulgación de la Ley para el Fomento de la Investigación Científica y Tecnológica y se caracteriza por un impulso decidido a la investigación científica y la dilución de la política tecnológica dentro de la científica alejándola de las prioridades de la política económica nacional. El Gasto en Investigación y Desarrollo Tecnológico comienza a declinar a partir de esta fecha al igual que la participación de los productos de alta tecnología dentro de las exportaciones nacionales.

Igualmente declina el número de investigadores aumentando solamente el número de becarios de posgrado y el de publicaciones científicas consistente con el desplazamiento de las prioridades nacionales de la competitividad hacia el desarrollo científico.

La investigación científica y tecnológica juega un papel vital en el desarrollo del país tanto como orientador del desarrollo que como refuerzo de la estructura productiva. Además, la ciencia y la tecnología son esencialmente previsoras, pueden señalar y evaluar las formas de aprovechamiento de los recursos naturales reduciendo la vulnerabilidad del país. Para extraer el máximo provecho se requieren recursos financieros pero la historia nos demuestra que puede ser más relevante la decisión táctica de priorizar el desarrollo tecnológico para la competitividad al desarrollo científico. La emisión de la Ley General de Ciencia y Tecnología es una oportunidad invaluable para replantear la relación que debe existir entre las políticas económica, tecnológica y científica utilizando como referencia indicadores de impacto.

5. Brenda.indd 138 12/17/19 16:34

Enseñanza de la ciencia en la educación básica: una historia de progresos, retrocesos y abandono

Fernando Flores Camacho*

SUMARIO

I. Introducción II. ¿Cómo ha sido el desarrollo de la enseñanza de la ciencia en México? III. ¿Cómo podemos transformar el estado de la enseñanza de la ciencia en la educación básica? IV. Referencias

INTRODUCCIÓN

La enseñanza de la ciencia en México es parte de la educación básica desde hace casi cien años y todos los procesos, cambios y derroteros que ha tenido la educación mexicana han tenido efecto, en diversa medida, en cómo, por qué y para qué se enseña ciencia. Sin embargo, y a pesar de lo anterior, no comparte con otros temas como español y matemáticas la misma historia pues está llena de particularidades.

Tal vez lo primero que podemos notar es que la educación básica ha producido una sociedad que no incorpora a las ciencias en su noción de cultura, que no conoce y aprecia la labor científica y en la que, la ciencia y la tecnología no están dentro de las expectativas de la gran mayoría de los jóvenes, como proyecto de vida. A esto contribuye la mala calidad con la que, en general, se ha enseñado la ciencia y que coloca a los estudiantes mexicanos en los últimos niveles de evaluaciones internacionales para el caso de ciencias (INEE, 2017), deficiencias que se extienden a los profesores, como han mostrado diversas investigaciones sobre sus ideas en torno a la naturaleza de la ciencia y de sus conocimientos científicos en correspondencia con el nivel en el que enseñan (Bonilla y Gallegos, 2009; Flores et al, 2007). Si además consideramos los problemas derivados

* Grupo de Cognición y Didáctica de las Ciencias. Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, UNAM.

6. Fernando.indd 139 12/17/19 16:35

de las diferencias socioeconómicas en los que los más desfavorecidos tienen menores oportunidades, la ciencia es una entidad muy lejana a su entorno. Lo que se puede notar de cualquier tipo de evaluación estandarizada o generalizada, es lo más visible de la problemática educativa pero, detrás de ello, hay otros múltiples aspectos que tienen que ver, por ejemplo, con las concepciones que se construyen en los profesores y en los niños en torno a la funcionalidad, complejidad y utilidad de los conocimientos científicos, así como a las imágenes descontextualizadas y deformadas sobre cómo se hace la ciencia, que quienes a ello se dedican, mujeres y hombres tienen capacidades intelectuales especiales y, también en las ideas ambivalentes entre positiva y negativa de las implicaciones del conocimiento científico.

A lo anterior y, en consecuencia, se suma el tipo de acciones cotidianas que se llevan a cabo en el aula y que inhiben los procesos de indagación y construcción de conocimiento en los estudiantes, desde el preescolar hasta la secundaria y más allá. Acciones que perpetúan procesos arraigados en concepciones de enseñanza y aprendizaje que no ha sido posible cambiar a lo largo de los años por diversas reformas y que abarcan, prácticamente, todos los ciclos escolares, desde la enseñanza básica hasta la superior.

Ante este panorama cabe preguntarse ¿cómo ha sido el desarrollo histórico de la enseñanza de las ciencias en nuestro país? y ¿qué escenarios se pueden plantear para mejorarla? Ambas preguntas son el motivo del presente escrito. Iniciaremos con una breve descripción de cómo ha sido el desarrollo de la enseñanza de las ciencias en la educación básica y, en la segunda parte, plantearemos algunas ideas en torno a qué aspectos son necesarios de transformar y algunas ideas para ello.

II. ¿CÓMO HA SIDO EL DESARROLLO DE LA ENSEÑANZA DE LA CIENCIA EN MÉXICO?

Son muchos y diversos los factores que habrá que analizar para tener un panorama de cómo ha sido ese desarrollo, qué avances se han logrado, qué problemas no se han resuelto o se han ocasionado, y cuáles son los retos que hay que superar. Entre esos factores, se cuentan los desarrollos curriculares, los libros de texto, los materiales para los alumnos, docentes y escuelas, la introducción de las tecnologías digitales, la formación de los docentes y, de manera implícita en todos ellos, la concepción sobre lo que es la ciencia, cómo se hace y cómo se aprende. A continuación, se desarrollarán, de manera breve, cada uno de esos factores.

Un aspecto central es sin duda el currículo. El currículo y su descripción en los planes y programas de estudio se ha transformado en los últimos 50 años cinco veces y, si bien, en algunas de esas transformaciones puede encontrarse cierta

6. Fernando.indd 140 12/17/19 16:35

continuidad, otras reformas, constituyeron cambios en direcciones divergentes. El currículo es relevante, no solo porque determina los conocimientos y aprendizajes que debieran lograrse, sino porque en él se encuentra la concepción que se tiene de las disciplinas, lo que se concibe como aprendizaje, los procesos explícitos e implícitos que se espera ocurran en las aulas, por mencionar solo algunos. En el caso de las ciencias, a partir de la reforma del 1983, se ha adoptado una visión constructivista, teniendo como centro al alumno. Sin embargo, la concepción de lo que implican los procesos de aprendizaje en el alumno y la concepción sobre la ciencia misma han tenido variantes. Una descripción detallada de los cambios curriculares para la enseñanza de las ciencias hasta la reforma del 2009 puede verse en Candela, Martínez, y Alvarado (2012).

Por ejemplo, mientras en la mayoría de esas reformas se mantiene el énfasis en poner al centro del currículo al alumno, algunas lo han enfocado en el aprendizaje bajo el supuesto de *aprender haciendo*, que estuvo de moda en los ochenta. Otras se han centrado en *procesos de indagación*, las más recientes en el *desarrollo de habilidades y competencias* y, la última reforma de 2017 en los *procesos de representación y su transformación*. Un caso atípico es la reforma de 2011, en la que sus declaraciones de indagación y desarrollo de competencias, no logran traducirse en los desarrollos curriculares y, por el contrario, se regresa a una visión centrada en los contenidos, con el agravante de tener libros de texto que no correspondían a lo planteado en los planes y programas de estudio.

En cuanto a sus concepciones sobre la naturaleza de la ciencia, las reformas también han tenido variantes. Las primeras reformas desde 1973 hasta el 1993 conservan una *visión empirista* de la ciencia, mientras que la reforma de la secundaria de 2006 y la reforma del 2017 se enfocan en una visión más estructuralista y de transformación orientadas por el paradigma kuhniano, donde el conocimiento científico y sus procesos de construcción y validación del conocimiento se da en las comunidades, es decir en un enfoque socio-constructivista, en donde no tiene cabida el conocimiento absoluto ni la comprobación universal del conocimiento. Nuevamente la reforma de 2011, representa un retroceso hacia una ciencia dogmática.

Salvo la atípica reforma curricular del 2011, las demás reformas, si bien presentan las diferencias señaladas, han avanzado, lentamente, en reducir la cantidad de conocimientos científicos que se espera aprendan los alumnos, en identificar los conocimientos más relevantes y los que la investigación educativa ha mostrado que representan mayores retos para los estudiantes, así como en orientar los procesos para la acción de los profesores en el aula, en correspondencia con lo que la práctica internacional va proponiendo y transformando y, en la última reforma (la actual reforma de 2019 aún no presenta un programa curricular), también en flexibilizar la estructura curricular, dejando mayores posibilidades de que cada

6. Fernando.indd 141 12/17/19 16:35

profesor con sus alumnos, puedan atender mejor los temas que consideran más complejos o relevantes.

Lo que se ha descrito, si bien, presenta un proceso de cambios curriculares con cierta preservación de los anteriores, lo que puede considerarse razonable, aunque con retraso, en la línea de los cambios curriculares en otras naciones con mayor desarrollo en el campo educativo (Ministry of Education Singapure, 2014; National Research Council, 2013; New South Wales Syllabuses, 2012), hay otra serie de aspectos que las han llevado, por un lado, al rechazo de los docentes, pero, principalmente, a la imposibilidad de instrumentar los currículos de manera adecuada, que no sea solo la coherencia retórica (Guerra, 2012) y que ha hecho de esas reformas curriculares, procesos cuyo impacto ha sido mínimo en las formas tradicionales y en las concepciones anquilosadas de la enseñanza, aprendizaje y función de la ciencia en la sociedad, como también lo ha señalado Martínez (2018).

Algunos de estos problemas relevantes son: *Cambios curriculares en corto tiempo*. Los cambios curriculares no solo son la introducción de un nuevo programa escolar y expectativas de logro de aprendizaje o la introducción de nuevos libros de texto. Requieren de un proceso de largo plazo para que las intencionalidades, enfoques y procesos de cambio que implican para la práctica docente, puedan irse incorporando en las perspectivas educativas de todos los actores educativos, en particular, con los docentes. La frecuencia con la que se hacen los cambios en la enseñanza básica no da el tiempo requerido para tal efecto y sus consecuencias son, que no son tomados como un nuevo compromiso para la transformación de la práctica educativa por parte de los docentes, que se utiliza el discurso de las reformas sólo con fines administrativos a sabiendas que un nuevo sexenio traerá una nueva reforma. *Inexistencia de procesos de evaluación y de seguimiento*. Salvo en contados estudios derivados del interés de algunos investigadores, no hay un proceso de evaluación de la pertinencia, logros y aspectos que se deben corregir de la puesta en marcha de las reformas. No se evalúa su operación en las escuelas, si los aprendizajes son los esperados y los alumnos mejoran con relación al currículum derogado, las problemáticas que enfrentan los profesores para su comprensión y puesta en práctica, la pertinencia de los materiales, y un etcétera que implica una larga lista. *La formación docente está desalineada con las reformas*. Como se ha descrito, varias de las reformas guardan una cierta coherencia en cuanto considerar al alumno el centro del proceso educativo bajo un marco constructivista, pero cuando se incursiona en la formación que se dan en las Normales e Instituciones de Educación Superior, las formas de enseñanza no guardan ninguna relación con esos enfoques. Siguen siendo formas tradicionales de enseñanza, en especial, en el caso de las ciencias, donde los profesores de las normales y de universidades, siguen procesos memorísticos

6. Fernando.indd 142 12/17/19 16:35

y solución de ejercicios. Esta formación es desactualizada y contraria a lo que los alumnos deben hacer cuando sean profesores de enseñanza básica, de manera que se les pide una práctica educativa para la que no han tenido ninguna formación, salvo las indicaciones normativas que vienen en los nuevos currículos de la reforma en turno. Estos aspectos, desde luego no agotan los problemas que implican las reformas educativas como se han llevado a cabo en nuestro país, hay otros factores administrativos, de capacitación de acompañamiento por citar algunos que diversos estudios han tratado (Latapí, 2004; Martínez 2018).

Los libros de texto son un caso interesante de relatar por lo que respecta a las ciencias. En primer lugar, porque, contrario a lo que se esperaría de libros de texto gratuitos, en cuanto al cuidado de contribuir al enfoque, de que los conocimientos científicos no tuvieran errores y de que los procesos didácticos que implican contribuyan a la comprensión de los alumnos, se encuentran libros de texto con muchos errores estructurales, conceptuales, gráficos y didácticos. Por ejemplo, los libros de la reforma de 1973 tenían algún tipo de error en cada página, la mayoría de ellos conceptuales y de ilustración, los de la reforma de 2011 además de no ser congruentes con el programa curricular y tener gran cantidad de errores conceptuales como decir que "la gravedad es como el pegamento de la Tierra" solo presentan información y no promueven la construcción conceptual de los alumnos (INEE, 2016). Los actuales libros son más cuidados en cuanto a sus ilustraciones, pero en muchas ocasiones éstas no se explican y son solo ornamentales, los textos son enciclopédicos, sin explicaciones y con errores y confusiones. Aquí un fragmento "La atmósfera es una mezcla de gases que rodea a la Tierra. Contiene nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, vapor de agua y ozono entre otros. La atmósfera regula la temperatura y el clima, lo que permite vivir, nos protege de los rayos ultravioleta y de posibles impactos de meteoritos, y es el medio por el cual viajan las ondas para la telecomunicación" (Ciencias Naturales Sexto Grado, p. 72). Como puede notarse, en primer lugar se confunde la Tierra como planeta –lo que incluye la atmósfera– y tierra como superficie; se establece temperatura como una entidad distinta al clima; además de que no se aclara en qué sentido regula, se mencionan aspectos como diversos gases o rayos ultravioleta como entidades conocidas por los alumnos y se deja la idea de que las telecomunicaciones requieren de la atmósfera cuando son ondas que también se propagan en el vacío. Otro ejemplo, "La luz puede entenderse como un conjunto de rayos llamados haz que viajan en línea recta. La reflexión es el cambio de dirección que experimenta el haz al chocar con una superficie lisa y pulida como los espejos. Como habrás notado en la actividad anterior, el haz que incide en los espejos y que luego se refleja forma dos ángulos simétricos o iguales: de incidencia y reflexión. Por esto podemos ver las imágenes en ellos." (Ciencias Naturales Sexto Grado p.115). Como puede notarse no se explicita que los rayos son solo

6. Fernando.indd 143 12/17/19 16:35

una representación para indicar la trayectoria de la luz, y se deja la idea que la luz es un conjunto de rayos, lo que es totalmente incorrecto, también se deja la idea que sólo en las superficies lisas y pulidas la luz se refleja, lo que es falso, en todo tipo de superficie hay reflexión de la luz, pero no es especular. Como puede apreciarse hay información que se agrupa sin estructura didáctica y con confusiones conceptuales. También hay actividades experimentales mal planeadas como las de las páginas 96 y 114 del libro de sexto grado, por mencionar algunas. Así la gran mayoría de los temas y los libros de todos los grados.

Además de los libros de texto, se han hecho diversos esfuerzos por desarrollar materiales educativos, especialmente con la introducción de las TIC en los procesos de enseñanza de la educación básica. Me referiré, brevemente, a tres de ellos, que tienen incidencia en las aulas de escuelas regulares –no se incluye educación a distancia–. Una descripción más completa y un análisis de los materiales se encuentran en Candela et al, (2012) y Valdez (2012), respectivamente. El más antiguo de ellos es Red Escolar que inicia en 1997 y cuyo antecedente es Micro-SEP en 1985. Red Escolar requiere de un aula de medios con computadoras conectadas en red para el trabajo en la escuela. Como la mayoría de estos proyectos la operación ha estado a cargo del Instituto Latinoamericano de la Comunicación Educativa (ILCE). Sus expectativas de alcance nacional, no se han cubierto y los esfuerzos por desarrollar materiales educativos, han ido decreciendo. Una visita a su actual sitio (www.redescolar.ilce.edu.mx) deja ver poco material digital para apoyar, por ejemplo las clases de ciencias, y un enfoque cada vez más centrado en actividades en redes sociales. Una visita a cualquier escuela primaria deja claro que su uso es muy limitado o inexistente. Otro proyecto que se planteó de amplio alcance fue Enciclomedia. Este proyecto desarrolló una gran cantidad de recursos de visualización e interacción que se incorporaron en las aulas por medio de una computadora, un proyector y un pizarrón inteligente. Uno de sus problemas era que cada temática tenía un tratamiento didáctico distinto y no había unidad en cuanto a los procesos pedagógicos. Sin embargo, había esfuerzos relevantes y desarrollos bien logrados que proponían un apoyo efectivo para los profesores en muchos campos. Por ejemplo, en el caso de las ciencias naturales, se desarrollaron programas realmente interactivos y simuladores de actividades experimentales. Sus problemas de implementación y de capacitación a los profesores, así como su introducción a gran escala sin fases exploratorias y, los siempre poco favorables factores políticos, llevaron a su abandono. Aún pueden verse en muchas escuelas los equipos de Enciclomedia, pero estos no funcionan o bien, los profesores no los usan. Un caso distinto en el que se probó de forma experimental la introducción de la tecnología para la enseñanza de las ciencias en la secundaria fue ECIT (Enseñanza de las Ciencias con Tecnología). Este proyecto, enmarcado en los proyectos EFIT, EMAT, se desarrolló y probó en

6. Fernando.indd 144 12/17/19 16:35

diversos contextos escolares y se evaluó con resultados relevantes tanto en la formación de los docentes como en los logros de los alumnos (Gallegos, 2006). Sin embargo, los cambios de rumbo, sobre todo en los enfoques de cómo usar la tecnología y aspectos presupuestales y de intereses extraescolares, los han dejado sin continuidad. La introducción de las TIC en las aulas es uno de los casos en los que menor continuidad y más cambios sin rumbo se han dado en la educación básica.

Otro de los aspectos que han deteriorado de manera importante la educación en ciencias tanto en primaria como en secundaria es, sin duda, el de las actividades experimentales. En todo programa curricular para la enseñanza de las ciencias, el que los alumnos puedan llevar a cabo actividades experimentales que les permitan interaccionar con los fenómenos, cuestionarse sobre lo que hacen y observan y construir representaciones que den cuenta de cómo ocurren y pueden explicarse los fenómenos naturales, son acciones que se plantean como necesarias para el aprendizaje de la ciencia. A pesar de lo relevante que son para la formación de los alumnos las actividades experimentales, la educación básica en México, la ha abandonado por completo. En el principio de la década de los 90 se llevó a cabo un proyecto en la UNAM (en el que participé) apoyado por la SEP con la finalidad de introducir equipamiento básico y actividades experimentales para la primaria, en ese proyecto se elaboraron materiales para llevar a cabo actividades experimentales, libros para maestros y alumnos de las actividades que se podían hacer por cada grado escolar y cursos de formación de docentes, en una escala piloto significativa. Sin embargo, nuevamente, los cambios de rumbo impidieron que el proyecto se llevara a mayor escala a pesar de sus buenos materiales y buenos resultados y aceptación entre la comunidad de los profesores. En la actualidad, algunas pocas escuelas primarias que en algunos estados tienen convenio con INOVEC y pagan sus servicios, cuentan con materiales para llevar a cabo experimentos. Además de esa empresa que redistribuye desarrollos de una entidad estadounidense NSRC (National Science Resource Center), todos los esfuerzos que han llevado a cabo universidades y entidades de educación superior que han desarrollado equipamiento y actividades experimentales para las escuelas primarias han quedado en lo anecdótico.

La escuela secundaria no presenta un mejor panorama. Los laboratorios y su equipamiento han ido desapareciendo paulatinamente y, de haber secundarias, en la época de los setenta, que contaban con equipamiento equivalente a lo que actualmente tienen los bachilleratos afortunados, ahora no existen ni los laboratorios ni los espacios en las escuelas para habilitarlos. Si como apuntamos en torno a las reformas curriculares, las propuestas tienen cierto alineamiento con el ámbito internacional, en lo que toca a la enseñanza experimental de las ciencias

6. Fernando.indd 145 12/17/19 16:35

en la educación básica en nuestro país, ha ido en sentido contrario y se encuentra ya, prácticamente, en un completo abandono.

La formación de profesores es otro de los grandes temas en los que se tienen avances, retrocesos y abandonos. Avances en cuanto a que las Normales son consideradas escuelas de Educación Superior y ello ha contribuido ha una valoración acertada de su labor, así como haber permitido el acceso de los maestros a estudios de posgrado que antes, por considerarse educación media, tenían prácticamente prohibido. Retrocesos, porque la enseñanza en esas escuelas no ha cambiado y no va con los enfoques educativos en general y con los de la enseñanza de las ciencias en particular y su formación en los campos científicos no ha rebasado el nivel de bachillerato que tenían previamente. La enseñanza de las ciencias en las escuelas formadoras de docentes no se ha favorecido con los enfoques de aprendizaje que se han desarrollado en las últimas décadas y, desde luego, no se alinean con los propósitos de las reformas curriculares, ni con los procesos educativos que éstas proponen. Abandono, porque al igual que en toda la educación básica, la incorporación de las TIC y de actividades experimentales son prácticamente inexistentes y, en los casos en los que las escuelas cuentan con laboratorios, continúan las prácticas cerradas que implican seguir una serie de pasos y obtener resultados predeterminados y que la investigación educativa ha mostrado ineficaces pero, sobre todo, contrarias a lo propuesto en los enfoques educativos de las reformas. Los egresados de las Normales se enfrentan a una normativa que pone en el centro de toda acción educativa al alumno y promueve los procesos de origen constructivista para los que su propia formación es ajena, es decir, se pide que enseñen de formas para las que no han desarrollado los elementos conceptuales, epistémicos y didácticos que les permitan comprender las implicaciones de los enfoques de las reformas y propuestas educativas actuales y tener los conocimientos científicos y pedagógicos suficientes para desarrollarlos. No es pues extraño que, en diversas investigaciones, por ejemplo sobre profesores normalistas de secundaria que comparan sus conocimientos y formas de enseñanza con relación a otras formaciones universitarias, los resultados sean los mismos y no se muestra ninguna diferencia en cuanto a la didáctica o los conocimientos pedagógicos que, en principio deberían haber desarrollado (Flores, et al, 2007). Este estado de cosas ha hecho que, los docentes, formados previamente a la implantación de una reforma, pero también, los que son recién egresados de las escuelas normales, así como de otras Instituciones de Educación Superior (IES), no interioricen, representen y puedan actuar en el aula más que con la repetición de sus propios procesos de formación y, con ello, que las reformas queden, de facto, sin posibilidad de concretarse en los salones de clase. Desde luego que los problemas de formación docente en las IES, así como los proce-

6. Fernando.indd 146 12/17/19 16:35

sos de actualización docente, tienen diversos orígenes y son muy complejos. En ellos se mezclan, tradiciones, asuntos sindicales, problemas sociales, presupuesto insuficiente y abandono institucional, pero también, falta de integración en los procesos de reforma, desconfianza hacia las mismas y, también, hay que decirlo, baja calidad de la educación en ciencias que en ellas se imparte.

Lo descrito, desde luego, no agota todos los aspectos que inciden en los problemas educativos, hay otros como la infraestructura de las escuelas, los problemas agravados en escuelas rurales, indígenas y migrantes, cooptación de los docentes por los sindicatos con fines distintos a los educativos y, otros específicos como, por ejemplo, las relación entre las culturas indígenas y sus implicaciones en el aprendizaje de las ciencias que recién comienza a estudiarse (Gallegos, et al, 2014;) y que muestran interesantes formas de abordar la ciencia y preservar las ideas culturales de los pueblos originarios, o estudios sobre la aproximación de la ciencia en las escuelas preescolares (Gallegos-Cázares, Flores-Camacho y Calderón-Canales, 2009).

Como puede apreciarse del panorama hasta ahora descrito, la enseñanza de las ciencias en la educación básica ha mostrado avances en lo curricular, ha tenido diversas propuestas para su mejora tanto en lo que toca a las actividades experimentales como en las TIC, sin embargo, salvo los aspectos curriculares, la mayoría de los esfuerzos se han quedado en el pilotaje, en la implantación deficiente, pero, sobre todo, sin trascender a las escuelas y llegar a los profesores. Así, mientras hay avances, hay retrocesos y abandono que ponen, al caso de la ciencia, en una de las situaciones de desventaja, como se ha dicho, no solo para los alumnos, sino también para los docentes y si bien, como se ha analizado en algunas investigaciones (Cuevas et al, 2016) no siempre las mediciones internacionales como las de PISA nos dan el panorama completo de la situación de la enseñanza, no debe minimizarse que proporcionan un panorama en el que nuestros alumnos no han superado las deficiencias que éstas evaluaciones han mostrado a lo largo de los años. También hay que decir que, como hace notar Martínez (2018), los cambios de un estatus, no solo no ocurren en nuestro país sino en la mayoría de los países, que los cambios son de muy largo plazo, y no es de esperar que esta situación sea diferente para México. Sin embargo, no debemos olvidar que no es lo mismo esperar cambios de quienes se encuentran por encima de la media, que, en países como el nuestro, cuyo diferencial a la media es muy grande, lo que hace urgente buscar formas de revertir, en alguna medida, esta situación de desventaja que refleja una educación científica básica nada deseable.

6. Fernando.indd 147 12/17/19 16:35

III. ¿CÓMO PODEMOS TRANSFORMAR EL ESTADO DE LA ENSEÑANZA DE LA CIENCIA EN LA EDUCACIÓN BÁSICA?

Antes de abordar algunos aspectos sobre lo que podría contribuir a mejorar la enseñanza de la ciencia en el entorno de los procesos de enseñanza, hay que manifestar que es necesario tener claro que hay dos aspectos que no deben dejarse de lado: Uno es el escenario o espacio escolar. Esto es, las condiciones en las que ocurren los procesos educativos, tienen influencia, condicionan o constriñen las posibles acciones de profesores y alumnos. Esto abarca la infraestructura como aulas, laboratorios, espacios para trabajar en diversas propuestas, mobiliario, la existencia de medios para efectuar posibles actividades, pero también otras condicionantes como la flexibilidad curricular, formas y procesos de planeación y control en las escuelas y los sistemas educativos. Estas constricciones, que en nuestro país obedecen a concepciones antiguas de lo que debe ser el espacio escolar y sus procesos, no han contribuido a cambiar las condicionantes que, de una u otra forma, han afectado la calidad de la educación. El otro aspecto, ligado a estas condicionantes, se encuentra el que, las posibilidades de interacción de los niños con su entorno, están estrechamente relacionadas con sus procesos cognitivos, aspecto conocido como "embodiment" (Glenberg, 2010; Lozada y Carro, 2016) y que, como se ha descrito en párrafos anteriores, las actividades donde los alumnos interaccionan con los procesos naturales es uno de los mayores déficits que tiene nuestro sistema educativo.

Lo anterior indica que, para mejorar la educación básica, también debe haber un esfuerzo importante en cambiar las condicionantes y constricciones que implican los espacios y escenarios escolares por otras formas de concebir las escuelas en todos sus aspectos. En diversos países se llevan a cabo iniciativas para transformar las escuelas tradicionales por otras, en las que esas condiciones de espacio y esceneraios, sean mucho más favorables y desarrollan un entorno que amplía las posibilidades de acción e interacción de los alumnos, tanto para los procesos naturales, como los sociales y tecnológicos. Un ejemplo de esas iniciativas es el Faraday Project, del Reino Unido, en el que se han construido escuelas con cambios relevantes para transformar los escenarios escolares (www.goved.co.uk/projects/faraday/outputs).

Con los dos aspectos mencionados, escenarios e interacciones de los alumnos con el entorno natural, que implican cambios generales, es necesario llevar a cabo diversas acciones para mejorar la calidad de la educación en ciencias. Desde luego que las acciones son diversas y si bien, están correlacionadas, no están condicionadas secuencialmente. Una de esas acciones en las que hay amplio consenso, es que la transformación de la formación de profesores es uno de

6. Fernando.indd 148 12/17/19 16:35

los aspectos prioritarios. Esta transformación debe abarcar distintas dimensiones. Una de ellas, haciendo referencia a las condiciones de espacios y escenarios que se mencionaron en los párrafos previos, es transformarlos también en las escuelas y universidades donde se imparte la formación de los normalistas o futuros docentes. En particular establecer condiciones como las que que se espera tengan en un futuro las escuelas de educación básica y, en las cuales, los sujetos en formación, puedan ir construyendo su perspectiva de espacio educativo acorde a las transformaciones de las concepciones sobre la enseñanza y aprendizaje de la ciencia actuales. Otra dimensión atañe a las concepciones sobre la naturaleza de la ciencia, esto es, a la dimensión epistemológica. Como se ha descrito, la concepción dominante entre la mayoría de los profesores es de una ciencia de método y verdad del conocimiento científico. Esta visión dogmática impide comprender los enfoques educativos centrados en procesos de construcción e indagación y, por ello, es necesario que, en la formación de los docentes, el tema de cómo se hace la ciencia, sus implicaciones y sus procesos de validez, sean analizados de manera amplia. Relacionada con esta dimensión epistemológica, se encuentra otra de orden epistémico, esto es, de que, en su formación, los futuros docentes sean partícipes de procesos de enseñanza en los que, en ellos mismos, se materialicen los actuales enfoques educativos que están orientados por la indagación, la colaboración y la construcción y transformación de representaciones y conceptos, lo que implica que tengan procesos de aprendizaje que sean correlativos a los que se perfilan en los actuales curriculos de ciencia. Esto implica, desde luego, alinear la formación de los docentes con la de sus futuros alumnos y no, como ocurre actualmente, en que los docentes se forman en las ciencias de manera tradicional (memorística y de ejercicios rutinarios) y se pide y espera, que ellos lleven a cabo procesos completamente diferentes, como, por ejemplo, lo que marcan los recientes currículos nacionales.

Desde luego, hay otros aspectos en la formación docente que habrá que mejorar, como profundizar en teorías del aprendizaje que se han orientado o derivado de la investigación en enseñanza de las ciencias, como es el caso de las teorías de cambio conceptual y de cambio representacional, por citar algunas de las más relevantes, o como lograr una mejor preparación en aspectos de metodología de investigación que les apoye para hacer un uso más intensivo y llevar al aula las propuestas e investigaciones de las revistas especializadas en enseñanza de las ciencias. Finalmente, pero no por agotar las necesidades de transformación, se encuentra el que los profesores tengan mayores oportunidades, en su formación, de integrar los aspectos experimentales con los tecnológicos fundamentalmente por dos razones. Una para que tengan mayores recursos de aprendizaje y la otra,

6. Fernando.indd 149 12/17/19 16:35

para que puedan hacer uso de ellas y discriminar lo que es relevante y no de las TIC, en función de los procesos de aprendizaje de los alumnos.

En cuanto a los programas curriculares, además de mejorarlos, siguiendo los lineamientos generales que se han propuesto en las reformas curriculares, que, como se ha descrito, tienen cierto alineamiento y congruencia con el entorno internacional, es necesario llevar a cabo análisis de diversos tipos, como investigaciones sobre logros de aprendizaje, transformación de conceptos, concepciones y representaciones, así como análisis sobre diversas prácticas docentes que apoyen a los profesores a desarrollar las mejores prácticas en función del contexto y las situaciones en las que se encuentran inmersos. Estas acciones y otras, más orientadas al análisis del funcionamiento del currículo en las escuelas, implicaría contar con un programa de evaluación y seguimiento, con el que puedan proponerse cambios curriculares con datos relevantes y no, como usualmente ha ocurrido, por situaciones contingentes.

Una propuesta curricular y su implantación requiere de contar con materiales correspondientes por lo que, además de los libros de texto, debe incluir espacios y materiales para actividades experimentales, el uso de recursos de tecnologías digitales y otros materiales de apoyo para contextos específicos, como los que se han elaborado para comunidades indígenas (SEP-UNAM, 2015). El tema de los materiales para alumnos y profesores es, como se ha descrito, uno de los aspectos en los que se ha tenido menor continuidad y en la que muchos esfuerzos han quedado frustrados por falta de políticas claras y presupuestos adecuados. Por ello, es importante que se desarrolle un programa de largo plazo, con el apoyo de especialistas en la enseñanza de las ciencias y con procesos de evaluación de las propuestas de manera consistente y adecuada. En algunos países los gobiernos han creados centros de desarrollo y producción de materiales educativos que apoyan a las escuelas, por ejemplo, el caso de Estados Unidos (National Science Resource Center) o China (China Education Instrument and Equipment) o relevantes apoyos para el desarrollo de programas STEM (Science Technology Enginering and Mathematics) como el programa australiano Support for STEM. Por lo anterior es relevante que, en nuestro país se tome, con mayor seriedad, brindar soporte de manera suficiente y continua para que las escuelas cuenten con materiales educativos adecuado y no limitarse al pizarrón o, a una tableta electrónica. Muchos de los proyectos que se han descrito en el apartado previo que se han llevado a cabo y que ofrecen buenos resultados como el proyecto EduCienPre (Gallegos-Cázares, Flores-Camacho y Calderón-Canales, 2008) y otros más que se han descrito, constituyen buenas bases para desarrollar programas de materiales educativos para las escuelas de enseñanza básica, que es, como se ha dicho, donde más carencias hay. Para ello, deben desarrollarse

6. Fernando.indd 150 12/17/19 16:35

políticas claras, de largo plazo y que estén alineadas con el progreso curricular y la formación de profesores.

En el desarrollo de materiales educativos, debe también tenerse en cuenta que, si bien las TIC son herramientas indispensables y es muy importante su introducción en las escuelas y desarrollar materiales adecuados para los distintos niveles educativos, no reemplazan a otro tipo de materiales y actividades como las experimentales pues, como se ha descrito, cada contexto implica la posibilidad de representaciones diferentes y complementarias en los alumnos que son necesarias para el aprendizaje de las ciencias. Las TIC no pueden sustituir procesos cognitivos relacionados con la interacción con el entorno físico de los estudiantes, mucho menos en los niveles de la educación básica.

La evaluación de nuestro sistema educativo se ha centrado en evaluar a los alumnos y si bien, es un indicador relevante, no es determinante pues, como se ha descrito, los resultados en los alumnos conllevan implícitos, diversos contextos, condiciones y procesos del sistema educativo, que no pueden observarse, ni mucho menos, evaluarse con los resultados de los alumnos. Resultados que, por otra parte, son dependientes de esas mismas condiciones implícitas. Es necesario, entonces, que la evaluación abarque todo el sistema educativo de manera articulada y correlacional, esto es, evaluar la pertinencia y funcionalidad curricular, la práctica y conocimientos de los profesores en las diversas dimensiones, la infraestructura y espacios de acción e interacción en las escuelas, su contexto sociocultural, la pertinencia de tecnologías digitales y materiales educativos, incluidos, desde luego, los libros de texto y relacionar todas estas evaluaciones con el desempeño de los alumnos en diversos aspectos cognitivos (comprensión de conceptos, formas de representación, procesos de indagación, formas de colaboración, innovación y solución de retos y problemas, comunicación).

Cabe señalar que todas estas propuestas de cambio son también necesarias para otros niveles educativos, en especial el bachillerato y la mayoría de las licenciaturas en ciencias, ingeniería y matemáticas, pues muchas de las problemáticas de la educación básica se repiten en esos niveles educativos. Por ejemplo, no hay formación de docentes para los niveles medio superior y superior y los pocos esfuerzos que hay, como MADEMS en la UNAM, están aún lejos de proporcionar, dada su concepción y estructura, los elementos que se requieren para una transformación en las formas de enseñanza.

Además de los aspectos señalados que atienden directamente a la escuela y al sistema educativo, es también necesario hacer esfuerzos importantes en la comprensión en la sociedad mexicana de que la educación y, en especial, la educación científica y tecnológica deben tomarse con mayor énfasis y compromiso. Dejar que sean parte de un discurso vacío y que se inviertan mayores recursos,

6. Fernando.indd 151 12/17/19 16:35

que se creen programas de largo plazo, que se haga ver su importancia en el desarrollo de los alumnos y lograr incorporar en la concepción de cultura (usualmente concebida como letras, artes y costumbres) al conocimiento científico, sus procesos y sus implicaciones.

Las formas en las que se enseña y se concibe el aprendizaje escolarizado debe cambiar radicalmente en todos los actores educativos, esto atañe, principalmente, a cómo se interacciona en el aula, a las prácticas docentes que se han considerado adecuadas, muestran cada vez más que no lo son y que los cambios no radican solo en cambiar los materiales, en introducir tecnologías digitales, ni en la introducción de nuevos temas. Las aulas deben transitar cada vez más hacia espacios de oportunidades de indagación, desarrollo, innovación, interacción y de construcción de estructuras de pensamiento y representación, donde el aprendizaje de las ciencias esté inmerso en el quehacer cotidiano de la escuela y en donde, la práctica docente, proporcione los escenarios posibles para la construcción y valoración de ideas en los alumnos que les lleven a su vez a una nueva concepción de qué es aprender. Necesitamos cambiar la historia de retrocesos y abandono, por una de mejora, posiblemente lenta, pero en la que cuenten más los progresos que los fracasos. Solo con una transformación profunda de la escuela podremos lograr las expectativas que se encuentran en los programas de educación básica de mejorar la calidad de vida de las personas, en tanto también se mejora su capacidad de pensar sobre los problemas cotidianos, despertar mayores vocaciones científicas, incorporar la perspectiva de género hacia la vocación científica, ciudadanos más informados y mejor ejercicio de la ciudadanía.

IV. REFERENCIAS

Candela, A., Martínez, A., y Alvarado, C. (2012). Las ciencias naturales en las reformas curriculares. En F. Flores-Camacho (Coord.) *La enseñanza de las Ciencias en la educación básica en México*, INEE, 11-32.

Candela, A., Gamboa, F., Rojano, T., Sánchez, A., Carvajal E., y Alvarado C. (2012). Recursos y apoyos didácticos. En F. Flores-Camacho (Coord.) *La enseñanza de las Ciencias en la educación básica en México*, INEE, 57-76.

Cuevas, A., Hernández, R., Leal, B. y Mendoza, Ch. (2016). Enseñanza-Aprendizaje de ciencia e investigación en Educación Básica en México, *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 18 (3), 187-200.

Faraday Project. www.goved.co.uk/projects/faraday/outputs, UK, (consulta junio, 2019).

Flores F., Gallegos, L., Bonilla, X., López, L. y García, B. (2007). Preconcepciones sobre la naturaleza de la ciencia de los profesores de biología de nivel secundario, *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 12 (32), 359-380.

6. Fernando.indd 152 12/17/19 16:35

Gallegos, L. (2006). Proyecto. La enseñanza de la ciencia con tecnología ECIT. En T. Rojano (Ed.) *Enseñanza de la física y las matemáticas con tecnología: Modelos de transformación de las prácticas y la interacción social en el aula*, Subsecretaría de Educación Básica- SEP, 130-139.

Gallegos, C. y Bonilla, P. (2009). Las Concepciones sobre la Naturaleza de la Ciencia y la Transformación de la Práctica Docente. *Enseñanza de las Ciencias*, 106-112.

Gallegos-Cázares, L., Flores-Camacho, F., y Calderón-Canales, E. (2009). Preschool science learning: The construction of representations and explanations about color, shadows, light and images. *Review of science, mathematics and ICT education, 3* (1), 49-73.

Gallegos-Cazares, L., Flores-Camacho, F., y Calderón-Canales, E. (2008). Aprendizaje de las ciencias en preescolar: la construcción de representaciones y explicaciones sobre la luz y las sombras. *Revista Iberoamericana de Educación*, 47, 97-122.

Gallegos-Cázares, L., Flores-Camacho, F., Calderón-Canales, E., Perrusquía-Máximo, E. & García Rivera, B. (2014). Children's models about colours in Nahuatl-speaking communities, Research in Science Education, 44, 699-725.

Glenberg, A. M. (2010). Embodiment as a unifying perspective for psychology. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science,* 1, 586-596.

Guerra, T. (2012). El currículo oficial de ciencias para la educación básica y sus reformas recientes: retórica y vicisitudes. En F. Flores-Camacho (Coord.) *La enseñanza de las Ciencias en la educación básica en México*, INEE, 79-92.

INEE, (2016). La educación obligatoria en México. Informe 2016, México INEE.

INEE, (2017). *México en PISA 2015*, México INEE.

Latapí P. (2004). La política educativa del Estado mexicano desde 1992, *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 6 (2), 1-16.

Lozada, M., y Carro, N. (2016). Embodied action improves cognition in children: evidence from a study based on piagetian conservation task. *Frontiers in Psychology, 7*(393), 1-7.

Martínez Rizo, F. (2018) ¿Por qué es tan difícil mejorar los niveles de aprendizaje? A propósito de las nuevas reformas a la educación básica mexicana, *Perfiles Educativos*, 40 (159), 162-176.

Ministry of Education (2014). Science Syllabus, Primary. Singapore.

National Research Council (2013). Next Generation Science Standards, EUA.

New South Wales Syllabuses (2012). Board of Studies Teaching & Educational Standards NSW, Australia.

Red Escolar, ILCE, www.redescolar.ilce.edu.mx, (Consulta, julio 2019).

SEP (2019). Ciencias Naturales, Sexto Grado, México.

6. Fernando.indd 153 12/17/19 16:35

SEP-UNAM (2015). Ciencias y narrativas de las culturas indígenas y migrantes: La astronomía y el mundo de los seres vivos según la ciencia, (Colección de libros para alumnos y docentes, ciclos I, II y III), SEP, México.

Valdez, R. (2012). Materiales educativos y recursos didácticos de apoyo para la educación en ciencias. En F. Flores-Camacho (Coord.) *La enseñanza de las Ciencias en la educación básica en México*, INEE, 93-112.

6. Fernando.indd 154 12/17/19 16:35

Ciencia y desarrollo. La divulgación de la ciencia, ¿trabajo incomprendido?

Patricia Magaña Rueda*

SUMARIO

I. Introducción II. Un acercamiento a la situación en México III. La divulgación científica IV. Del concepto al discurso: la apropiación social de la ciencia V. Consideraciones finales VI. Bibliografía

El conocimiento es un proceso psíquico que acontece en la mente de un hombre; es también un producto colectivo social, que comparten muchos individuos.

VILLORO, L. 1982

I. INTRODUCCIÓN

La ciencia ha cambiado lo que sabemos del mundo y la forma que influimos en él. Desde su concepción como una rama específica del conocimiento en el siglo XVI, la ciencia ha ido de la mano del entendimiento del Universo en prácticamente todos los temas, y ha cambiado la manera de abordar los problemas de salud, la educación, la alimentación y nuestra relación con la naturaleza. La ciencia ha representado la mejor posibilidad para el desarrollo de la sociedad porque cambia la calidad y expectativa de vida, permite entender el funcionamiento de los ecosistemas y de cualquier organismo vivo; ha llevado a una mayor producción de energía, influido en el desarrollo social y cultural y, en forma creciente, en la producción de tecnología para manejo de datos y la creación de nuevos materiales. El mundo de hoy es el mundo de la ciencia, y la tecnología que deriva de ella. Asimismo, la ciencia se ha visto influida por procesos históricos y sociales, con beneficios y problemas tanto para la comunidad científica como para la sociedad.

* Maestra en Ciencias Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

7. Patricia.indd 155 12/17/19 16:35

Frente a otras actividades sociales como la industria, es relevante revisar qué es la ciencia. Cito a continuación tres definiciones que marcan la forma en que la ciencia trabaja y cómo se le ve desde fuera de su propio ámbito; en ellas hay elementos en común, que enuncian su papel transformador.

En primer lugar, la planteada por el Dr. Ruy Pérez Tamayo (1989), reconocido universitario, que afirma: "La ciencia es una actividad humana creativa cuyo objetivo es la comprensión de la naturaleza y la sociedad y cuyo producto es el conocimiento, obtenido por medio de métodos fiables, y que aspira a alcanzar el mayor consenso racional posible".

A continuación, dos aproximaciones de filósofos mexicanos: "La ciencia es la más segura de las formas de conocimiento… suele añadir precisión y control racionales a procedimientos cognoscitivos ya usados, para resolver problemas de la vida práctica cotidiana" (Villoro, L. 1982).

"Las ciencias constituyen una parte de la realidad social y consisten en un complejo de actividades, de creencias, de saberes, de valores, normas, y costumbres, de instituciones, etc., todo lo cual permite que se produzcan ciertos resultados que suelen plasmarse en las teorías científicas, en modelos y en otros productos que contienen los llamados conocimientos científicos, así como otros saberes que se usan para transformar el mundo". (Olivé, L. 2000).

A partir de su historia, sus definiciones y su praxis, podemos deducir que la ciencia tiene su propia dinámica de desarrollo dentro de marcos históricos y sociales. Su relación con las actividades productivas ha sido fundamental para el desarrollo de las sociedades. Baste mencionar su enorme influencia, particularmente ligada a la técnica, finales del siglo XVIII en Europa, en el periodo de la llamada revolución industrial, ligada a la técnica. Además de su papel central en la creación de conocimientos, la ciencia está en la base de la tecnología para la generación de productos industriales que contribuyen a la riqueza en las naciones. Desde el siglo pasado, y de manera preponderante, la actividad científica está ligada al manejo de información y a la comunicación. No hay vuelta atrás. El funcionamiento de la sociedad está marcado por las tecnologías de la información, la biotecnología, la nanotecnología y al desarrollo de materiales entre muchos otros procesos.

La llamada "revolución tecnocientífica", caracterizada hace apenas algunas décadas por sociólogos y filósofos, habla de un nuevo modelo de hacer ciencia totalmente basada en la tecnología. "La tecnociencia surgió después de la Segunda Guerra Mundial y es hoy la base de la sociedad informacional", según indica el destacado filósofo español Javier Echeverría (2003). El autor enfatiza que la ciencia académica (la que tradicionalmente se llevaba a cabo) "disminuyó su importancia al emerger la revolución tecnocientífica, y esta última logró superponerle

7. Patricia.indd 156 12/17/19 16:35

un entramado que modificó radicalmente la organización de la investigación para darle un propósito meramente instrumental".

Al estar aliadas, ciencia y tecnología han tenido fuertes impactos positivos en una variedad de problemas, pero también algunos negativos, que tienen que ver con el ambiente natural, la salud humana y el futuro del planeta. De ahí su relevancia, con avances y riesgos, en los países que han logrado despegar económicamente.

No todas las empresas tienen interés en la ciencia; algunas mantienen laboratorios o grupos de investigación, pero buena parte de la industria ha encontrado que "colaborar" con las universidades y centros de investigación trae muchos beneficios en la creación de productos innovadores, transferibles y/o aplicables. Las empresas que mantienen relaciones con instituciones educativas y de investigación lo hacen a través de convenios específicos y proyectos, que pueden poner a esas empresas a la cabeza de grandes desarrollos industriales. En esta relación de intercambio es que las universidades y centros que viven de fondos públicos han encontrado recursos de empresas privadas para mantener sus proyectos en todo el mundo y concretar, si les es posible, patentes en distintos campos.

Para muchos científicos y filósofos, cada vez más, la ciencia tiene funciones instrumentales, que podrían entenderse como aplicadas, particularmente las ligadas a la tecnociencia. Pero durante mucho tiempo la ciencia había tenido funciones que se han llamado "no instrumentales", ligadas al quehacer intelectual, que aún son centrales para el abordaje de los fenómenos. Una de esas funciones no instrumentales, muy valiosa, es la de producir profesionales independientes y expertos que ocupan muchas de las posiciones clave en el orden social (Ziman, 2005), o que pueden ser asesores para empresas, sectores gubernamentales u organizaciones sociales. Adaemás de los investigadores, los comunicadores de ciencia pueden jugar el papel de acompañamiento tanto a los asesores científicos, como a los empresarios interesados.

II. UN ACERCAMIENTO A LA SITUACIÓN EN MÉXICO

Una somera revisión de la historia de la ciencia mexicana muestra que ésta toma plena carta de naturalización e institucionalización en los años cuarenta del siglo XX. Puede decirse que la investigación científica ha ido de la mano de la educación pública y sólo en casos aislados de cierto impulso a través de la industria; fue notable lo sucedido en los años cincuenta en el campo bioquímico, con la síntesis de la primera sustancia utilizada para la fabricación de anticonceptivos y la creación de la empresa Syntex, donde confluyeron investigadores, gestores y visionarios de la industria, pero que desgraciadamente desapareció sin concretar uno de los proyectos que podrían haber dado a México una enorme relevancia a

7. Patricia.indd 157 12/17/19 16:35

nivel internacional (Leon, 2001). Desde hace muchos años se ha buscado la colaboración industria/cienia a nivel local y regional, guiados por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) y la formación de laboratorios nacionales.

De acuerdo con un reciente reporte de la OCED (2018): "Las actividades de ciencia, tecnología e innovación (CTI) enfrentan varios factores de cambio disruptivos." "De conformidad con las `Metas de Desarrollo Sostenible´, los gobiernos buscan reorientar el cambio tecnológico, apartándolo de las trayectorias existentes, hacia tecnologías provechosas desde el punto de vista económico, social y ambiental, y estimular las inversiones privadas en CTI sobre esta base. Este cambio ha dado impulso a una nueva era de la política de CTI `orientada a una misión específica´, donde los gobiernos tratan de trabajar de cerca con el sector empresarial y la sociedad civil para encaminar la ciencia y la tecnología hacia metas ambiciosas, socialmente pertinentes."

En 2018, el Dr. Juan Pedro Laclette, quien coordinara el Foro Consultivo de Ciencia y Tecnología, afirmaba que México debía estar gastando este año el 0,89% del PIB, pero en 2017 apenas llegó al 0.54%, según estimados oficiales. De igual manera, el Dr. Enrique Cabrero ex director del Conacyt, decía en 2018 que "no existían nexos fuertes entre industria y academia … el modelo económico de la maquila da lugar a casos de posdoctores y doctores que terminan como vendedores sobrecualificados"… "si México no logra ser una potencia media en ciencia, tecnología e innovación en 25 años, ya no vamos a poder agarrar ese tren".

En 2019 la ciencia mexicana y el apoyo presupuestal que el gobierno le otorga han sido objeto de un debate, que ha sido recogido por la prensa, ante la ambivalente política gubernamental del nuevo gobierno que entró en funciones en diciembre de 2018, y que no parece buscar un cambio positivo en la situación de la ciencia respecto a lo que se vivía en sexenios anteriores.

El Foro Consultivo Científico y Tecnológico recientemente indicó, en voz de su coordinadora general la Dra. Julia Tagüeña Parga, que para que la ciencia y la tecnología tengan impacto en el desarrollo del país se requiere que se le asigne una inversión mínima equivalente al uno por ciento del Producto Interno Bruto (PIB), algo que ningún gobierno ha logrado hasta hoy. Tagüeña comentó, en una ceremonia celebrada en la sede del Conacyt hace algunos meses, que el presupuesto más alto para el sector científico se registró en 2015, cuando se le destinó el equivalente al 0.5 por ciento del PIB y afirmó que "sería fundamental que hubiera alguna disposición en la ley de ciencia y tecnología que no permitiera que bajara, además de que se cumpliera el mandato constitucional de invertir al menos 1 por ciento".

De acuerdo a lo publicado el viernes 29 de marzo de 2019 en el periódico *El Sol de México*, por el Dr. Martín Méndez González del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, "aproximadamente 80 por ciento de la inversión

7. Patricia.indd 158 12/17/19 16:35

en ciencia y tecnología proviene del gobierno federal, el restante del sector privado. La misión es lograr revertir este porcentaje, creando mecanismos más ágiles, menos viscosos burocráticamente que faciliten la interacción e inversión entre el sector privado y la academia. También es conveniente crear marcos legales que transparenten la donación en metálico a instituciones de investigación por parte de asociaciones que promueven el desarrollo científico o de magnates interesados en actividades filantrópicas".

El Conacyt (2019) tiene, en esta administración, **nuevos puntos de vista** y una serie de programas entre los que están distintos tipos de fondos, apoyos, y estímulos que permiten "la participación de Secretarías de Estado, los Gobiernos Estatales y las Entidades Federativas, con las instituciones del ámbito académico y científico, las organizaciones de la sociedad civil y las empresas privadas que integran el sistema científico-tecnológico de México". Estos programas permiten la participación de empresas para colaborar financieramente en el trabajo científico.

El presupuesto publicado por ese organismo indica que apoyarían 179 proyectos de investigación básica y aplicada, así como de desarrollo tecnológico que respondan a las demandas que determinen las dependencias y entidades socias del Conacyt. "El Programa de Estímulos a la Innovación Tecnológica para Incrementar la Productividad de las Empresas contará en 2019 con una asignación presupuestaria de 256.9 millones de pesos para apoyar 70 proyectos que incentiven la inversión privada para la realización de actividades de investigación científica, desarrollo tecnológico e innovación en las 32 entidades federativas del país".

La industria podría beneficiarse de las posibilidades que le brinda interactuar con el sistema científico-tecnológico en una variedad de temas, que van de la actualidad mundial a la nacional y donde pueden intervenir una diversidad de actores. Algunos tópicos generales, particularmente relevantes, son los que plantearon la Academia Mexicana de Ciencias, el Conacyt y la Universidad Nacional Autónoma de México en el 2013, en lo que se llamó "Agenda ciudadana de ciencia, tecnología e innovación", y que quedaron plasmados como preocupaciones en una serie de libros sobre salud pública, seguridad alimentaria, energía, cambio climático, investigación espacial y medio ambiente.

Además de los anteriores, hay muchos tópicos específicos en los que la relación industria-ciencia puede dar resultados. Aquí sólo un botón de muestra de una convocatoria para investigadores publicada por la Facultad de Ciencias de la UNAM (julio de 2019). Cito textual:

"Se han identificado oportunidades de colaboración entre la Facultad de Ciencias y diferentes empresas y asociaciones industriales. Por ello, nos han remitido una lista de problemas y/o necesidades específicas en las que les gustaría colaborar con la Facultad de Ciencias. Los problemas y/o necesidades son":

7. Patricia.indd 159 12/17/19 16:35

1. Caracterización del proceso de transformación del Bisfenol A en el proceso de fundido de envases metálicos.
2. Identificación de transferencia de Bisfenol A a los alimentos, durante el tiempo de vida de envasado en metal.
3. Aprovechamiento total de la madera.
4. Técnicas de conservación de los diversos tipos de maderas que existen.
5. Tratamiento y eliminación de todo tipo de plagas que atacan la madera sin dañar ésta.
6. Técnicas de rendimiento de la madera.
7. Reducción de agentes contaminantes para el medio ambiente en el proceso de estufado de la madera.
8. Tratamientos del suelo para la reforestación de terrenos.
9. Opciones para la degradación, mediante agentes biológicos, de desechos generados por aerogeneradores.
10. Opciones para la degradación, mediante agentes biológicos, de desechos generados por paneles solares.
11. Caracterización del ciclo de vida total de los envases metálicos en México.
12. Datos en México sobre transplantes de órganos, vejiga hiperactiva, cáncer de próstata.

Esto es sólo un pequeño ejemplo, pero ¿cuántas empresas estarían interesadas en "asociarse" a los grupos de investigación en México para impulsar una ciencia que les dé resultados productivos?, ¿en qué proporción están dispuestas a participar?, ¿cuál consideran que sería el plazo para dar resultados que convengan a ambas partes?, ¿qué tanto interesa a empresarios mexicanos seguir el ejemplo de otros países, aliándose a la ciencia en México, y no sólo importar tecnología? Habría que preguntarles y hacer una labor que les convenza de encontrar, como se ha hecho en otros países, las mejores alianzas. Es probable que en algunas áreas, los sectores científicos mexicanos y la industria, no tengan claro qué temas y proyectos pueden representar oportunidades para los dos sectores. En ello hay un nicho de oportunidad, ya parcialmente cubierto por un área de vinculación como sucede en la UNAM, pero también puede serlo para la comunicación y la divulgación de la ciencia.

Desde los años sesenta, en que se empezó a hablar de las sociedades de la información en el mundo y con el advenimiento del Internet a una escala global, muchos sectores sociales tuvieron la esperanza de que el tener una disponibilidad de datos para la población significaría un salto cuantitativo en la cultura de las personas y en su toma de decisiones. El tiempo se ha encargado de mostrar que la información no es suficiente; de hecho, el manejo de los datos puede

7. Patricia.indd 160 12/17/19 16:35

proporcionar información errónea al reportarse al antojo de quien los presenta e incluso llevar al rechazo de la información. Más tarde, a nivel mundial, se comenzó a hablar de sociedades del conocimiento en las que además de tener datos era necesario hacer un análisis de los mismos. Hoy, ante la cobertura de Internet y su uso masivo, con la instantánea circulación de información, el verificar lo que se afirma en los medios, se ha vuelto un tema de preocupación. La divulgación de la ciencia puede contribuir al análisis de esas notas. ¿Cómo definirla?

III. LA DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

La Mtra. Ana Ma. Sánchez Mora (2002), maestra de varias generaciones de divulgadores en México plantea que "La divulgación de la ciencia es una labor multidisciplinaria cuyo objetivo es **comunicar**, utilizando una diversidad de medios, el conocimiento científico a distintos públicos voluntarios, recreando ese conocimiento científico con fidelidad, [y] contextualizándolo para hacerlo accesible."

La definición de la Mtra. Sánchez abarca muchas facetas. No se trata de "traducir" o "hacer fácil" la ciencia para otros, ni de ser "intermediarios" entre los científicos y la gente. Se trata de recrear el contenido científico o incluso crear un nuevo discurso que permita generar imágenes, percepciones y respuestas a diversas interrogantes entre una diversidad de personas en distintas situaciones y contextos, siempre teniendo como base el rigor de los datos y su análisis.

Horacio Salazar (2018), periodista de ciencia afirma: "Llamamos comunicación de la ciencia a un proceso en el que varios actores sociales utilizan las habilidades, medios, actividades y diálogos que se requieran para lograr que la ciencia sea comprendida, apreciada, disfrutada, que produzca interés y ayude a formar opinión".

De ambas definiciones deriva una tarea central: contribuir a la formación de un pensamiento crítico, al presentar no sólo la postura de la investigación científica en torno a los fenómenos que estudia, sino también la manera en que lo hace, proyectando una imagen del trabajo científico, y dándole a la ciencia el valor que tiene con una visión central para atacar y resolver problemas.

La divulgación de la ciencia tiene un gran reto por delante, ya que para contribuir a la formación de una cultura científica y con ello, en lo posible, crear una visión crítica del mundo entre amplios núcleos, se requiere un trabajo cuidadoso y de largo aliento. Divulgadores y periodistas de ciencia, con preparación profesional, unidos a investigadores, profesores y en general académicos relacionados con la ciencia, hacen una labor que podría situarse parcialmente dentro de la educación informal. Además de la circulación de información analizada, la divulgación sirve para entretener, disfrutar la ciencia, apoyar la enseñanza, generar

7. Patricia.indd 161 12/17/19 16:35

dudas e incentivar la búsqueda profunda de los estudios en un tema, al igual que coadyuvar a la creación de vocaciones científicas. Una tarea más, que no ha sido explorada, es que la divulgación sea un vocero de la ciencia para los proyectos de innovación.

Hacer divulgación científica significa conocer a los distintos públicos y fijar objetivos que, de lograrse, se deberán evaluar al finalizar cada programa. Hoy, en diferentes ámbitos, quienes nos dedicamos a esta tarea, más que divulgación científica le llamamos "comunicación pública de la ciencia", porque al hablar de "comunicación" hacemos referencia a enviar mensajes **en un sentido** y a recibir respuestas, de sus intereses y necesidades.

Para llegar a públicos de distinta edad, formación y situación personal, la divulgación científica usa distintos medios: charlas, conferencias, exposiciones, museos, libros, artículos, radio, televisión, cine, ferias y más. Algunos de estos medios tradicionales se han trasladado de su fuente original a Internet (o se apoyan en ella), porque permite forjar nuevos canales de comunicación para divulgar la ciencia con la posibilidad de tener intercambio de ideas y evaluar la efectividad de los mensajes.

En México hay una historia de más de cuarenta años de hacer divulgación científica. Es poco tiempo si se le compara con otros países, particularmente Estados Unidos y Europa, pero ha crecido en calidad según muestran distintas evaluaciones. Se ha realizado a través de una diversidad de proyectos que van de las conferencias, las publicaciones, los talleres y los museos, hasta el uso más reciente de medios audiovisuales a distintas escalas y el Internet.

Aunque desde hace alrededor de veinte años ya se hacía mucho trabajo directo sobre todo en el centro del país, la actividad y el número de promotores han crecido en toda la república. Como afirmó Elaine Reynoso, presidente de Somedicyt en 2013, la divulgación de la ciencia se encuentra en un proceso de construcción. "Es un campo de conocimiento que conjunta saberes de diversas disciplinas como las llamadas ciencias naturales, ciencias exactas y ciencias sociales, así como de las humanidades, la comunicación, la técnica y la tecnología". (Patiño, B. 2013). Además, en los años recientes, muchos divulgadores insisten en que es urgente abordar la tarea de informar sobre las seudociencias y rechazarlas, al igual que hacer un combate a la charlatanería, a las llamadas 'fake news', que también existen en referencia al a ciencia y a la tecnología.

La divulgación de la ciencia en México es un campo activo al que hoy se dedican (según algunas estimaciones) alrededor de 300 profesionales de tiempo completo de distintos orígenes profesionales, especialmente científicos y comunicadores, que laboran en instituciones de educación superior, organismos gubernamentales, medios de comunicación, empresas o personas de manera

7. Patricia.indd 162 12/17/19 16:35

independiente. Los alcances de su trabajo son muchos, ya que en casi todos los estados del país hay museos, grupos dentro de universidades, gestores de actividades directas en los consejos estatales de ciencia y publicaciones en distintas plataformas.

Como en otras muchas otras labores culturales, la divulgación de la ciencia en México sigue ganándose un lugar relevante, no sólo por los enormes desafíos que plantea la deficiente formación educativa en el país, sino también por la falta de una actitud crítica para analizar muy distintas esferas de la vida cotidiana, donde la ciencia podría aportar elementos para enriquecer la visión de la forma en que se abordan los problemas y su posible solución.

Los actores sociales dedicados a la divulgación de la ciencia no son "entes" fáciles de definir. Durante muchos años, en México los interesados en dedicarse a esta rama de la comunicación se formaron en la práctica, es decir con intuición, colaboración con otros comunicadores, a través de talleres, con lecturas y participación en reuniones. Es así que varios de los destacados divulgadores que hoy tenemos en el país aprendieron sobre la marcha. El campo más desarrollado, por mucho, era el de la museología y la museografía. Para un país de más de 120 millones de habitantes, el número de divulgadores que existe es pequeño, así como escasos son los medios más tradicionales (radio, prensa y televisión) que han tenido la visión de invertir recursos en esta tarea.

En la actualidad, para dedicarse a la comunicación pública de la ciencia, hay opciones de formación académica: cursos generales, cursos específicos en cada campo, diplomados y posgrados, lo que ha permitido dar solidez a las propuestas de proyectos, su realización y evaluación. Por ello, desde hace casi una década el Conacyt reconoce su papel relevante al asignarle recursos. Es notable el avance de este campo en México, lo que se puede constatar al asistir a congresos nacionales e internacionales de la actividad, además de que hay instituciones que han abierto posiciones de trabajo para quienes están sólidamente formados, incluidas algunas empresas que en sus oficinas de comunicación social tienen la vertiente de la divulgación científica.

¿Cuánta ciencia requiere un ciudadano? Toss Gascoigne, reconocido divulgador australiano, hace un tiempo se lo preguntó. Gascoigne, quien visitó México en 2017 para participar en un coloquio de divulgadores científicos mexicanos, desarrolló en los años previos un proyecto en el que decidió preguntar a 118 investigadores de su continente y fuera de él qué cosas básicas de la ciencia pensaban que debía saber una persona. Las respuestas que recibió fueron dispares, e iban de afirmar que las personas necesitan conceptos exactos (como los contenidos de la tabla periódica o las leyes de la termodinámica) a que entendieran la forma en que la ciencia trabaja. Toss no logró llegar a una conclusión precisa

7. Patricia.indd 163 12/17/19 16:35

sobre si se requerían conocimientos o percepciones, en un proyecto en el que por cierto, sólo 15% de los entrevistados hablaron de ligar a la ciencia con la industria. En un artículo que publicó en 2016 concluyó que "quizá la sociedad sobrevivirá si una buena parte de su población tiene algún conocimiento de ciencia y sus procesos". Al preguntársele qué era más importante, él asegura que el que las personas entiendan los procesos de generación de conocimiento es central.

Siguiendo esta línea, la Sociedad Mexicana para la Divulgación de la Ciencia y la Técnica A.C. (Somedicyt) inició en 2018 un proyecto similar al de Gascoigne, para saber qué ciencia necesita saber un ciudadano en nuestro país; la investigación está en marcha y seguramente representará para los comunicadores de la ciencia una oportunidad de plantear adecuadamente sus proyectos.

IV. DEL CONCEPTO AL DISCURSO: LA APROPIACIÓN SOCIAL DE LA CIENCIA

El concepto "apropiación social de la ciencia", que algunas veces se ha utilizado como sinónimo de divulgación científica, fue incorporado en los años noventa a los planes nacionales de ciencia y tecnología en Colombia, y es una idea que se ha fortalecido en el ámbito latinoamericano. De acuerdo a Colciencias (2019) la apropiación social de la ciencia es un proceso intencionado de comprensión e intervención de las relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad, construido a partir de la participación activa de los diversos grupos sociales que generan conocimiento y es articulado a través de redes sociales, lo que implica trabajo colaborativo. Yo lo interpreto no solamente como la revaloración del conocimiento tradicional, sino como un proceso que busca "empoderar" a la sociedad dándole elementos desde la ciencia; es decir influir en el cambio de percepción de las problemáticas sociales y su solución con asesoría desde la ciencia o incorporación de conceptos a sus prácticas, lo que tiene una componente compleja que es el cambio de conductas.

El Conacyt (2019) dice: "La política en materia de ciencia, tecnología e innovación (CTI) tiene como propósito coadyuvar a que la sociedad mexicana se **apropie** del conocimiento científico y tecnológico y lo utilice para su bienestar, para ello se requiere articular al Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación a través del fortalecimiento de los vínculos entre los sectores académico y de investigación, empresarial y público en sus niveles federal, estatal y municipal, consolidando un sistema que aproveche mejor el esfuerzo de todos sus actores, más cercano a la sociedad, pero también mucho más conectado con el mercado global del conocimiento". La Dra. María Elena Álvarez-Buylla Roces, hoy titular del Consejo, ha planteado en varios foros que se requiere implementar la apropiación social de la ciencia y ha anunciado que se trabaja en el Plan Nacional de

7. Patricia.indd 164 12/17/19 16:35

Apropiación Social de la Ciencia, en cuya elaboración participa una amplia red de instituciones y organizaciones, como la Secretaría de Educación Pública (SEP), sociedades científicas, academias, divulgadores, editores de revistas y comunidades. Tendremos que esperar su publicación para aclarar cuál es su visión sobre este tema y la forma en que lo impulsarán.

V. CONSIDERACIONES FINALES

La ciencia, como actividad social, tiene en el centro de su validación a la comunicación entre pares, pero puede aportar mucho fuera del entorno académico, lo cual está cada vez más claro para los estudiantes e investigadores en ciencia. Comunicar los muy diversos aspectos que la ciencia abarca, su funcionamiento, sus avances y dudas es hoy una tarea central para apoyar la formación de un pensamiento crítico en la población. De igual manera es importante, tanto para la industria como para las instituciones que hacen investigación, conocer los puntos de encuentro de sus propósitos. Ojalá que la relación crezca y que la divulgación de la ciencia juegue un papel en ello.

VI. BIBLIOGRAFÍA

Apropiación social de la ciencia. 2019. Colciencias. Colombia https://www.colciencias.gov.co/cultura-en-ctei/apropiacion-social/definicion

Echeverría, J. *La revolución tecnocientífica.* 2003. Fondo de cultura económica, España.p. 1-17.

Camhaji, E., 2017. *El país*. https://elpais.com/elpais/2017/12/01/ciencia/1512157927_534452.html

Conacyt, 2019. https://www.conacyt.gob.mx/index.php/fondos-y-apoyos

Conacyt, 2019. https://www.conacyt.gob.mx/index.php/comunicados/984-directora-del-conacyt-anuncia-plan-nacional-de-apropiacion-social-de-la-ciencia

Gaceta UNAM, 2019. Proponen apropiación social de la ciencia. http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2019_158.html

Gascoige, T., 2016. *How Much Science Does a Citizen Need? Australian Science* 31-33.

González Piñón, J. A., 2019. Grupo expansión. A 100 días de AMLO https://expansion.mx/opinion/2019/01/14/opinion-ciencia-prioridad-del-nuevo-gobierno

Joost, H.L.J., 2010. *Relaciones industria-ciencia: importancia, conceptos básicos y factores de éxito.* Documentos de trabajo del Instituto de Análisis Industrial y Financiero (IAIF); nº 76. Instituto de Análisis Industrial y Financiero. Universidad Complutense de Madrid.

7. Patricia.indd 165 12/17/19 16:35

La Jornada Aguascalientes. Noviembre 2018. https://www.lja.mx/2018/11/a-la-industria-en-mexico-le-falta-confiar-en-la-ciencia-nacional/

León, O. F. 2001. El origen de *Syntex*, una enseñanza histórica en el contexto de ciencia, tecnología y sociedad. Rev. Soc. Quím. Méx vol.45 no.2 México. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0583-76932001000200010

Lozano, M.; Mendoza T., M.; Rocha, F. y Welter, Z., 2016. La apropiación social de la ciencia, la tecnología la innovación: políticas y prácticas en Chile, Colombia, Ecuador y Perú. TRILOGÍA. *Ciencia, Tecnología y Sociedad,* 8(15), 25-40.

OCDE Perspectivas de Ciencia, Tecnología e Innovación 2018. https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/fe9c243a-es.pdf?expires=1561658716&id=id&accname=guest&checksum=708BA8684DC5D20E55C25F3B7D1A76C5

Olivé, L., 2000. *El bien, el mal y la razón.* Facetas de la ciencia y la tecnología. Paidós. 214 pp. 13-43.

Patiño, B. M.L., 2013. *La divulgación de la ciencia en México desde distintos campos de acción: visiones, retos y oportunidades.* Somedicyt. p. 6-7.

Proyecto de presupuesto de egresos de la federación 2019. Estrategia programática ramo 38.

Sánchez, J. A., 2019. Para ciencia y tecnología se requiere el 1% del PIB. *La Jornada*. https://www.jornada.com.mx/ultimas/2019/01/16/se-requiere-para-ciencia-y-la-tecnologia-1-del-pib-fccyt-2098.html

Sánchez M., A.M., 2002. El bestiario de los divulgadores. En: Tonda, J., A.M. Sánchez y N. Chávez. Antología de la divulgación de la ciencia en México. DGDC, UNAM. 302-308.

Villoro, L., 1982. *Creer, saber, conocer.* Siglo XXI editores. México. 310 pp.

Salazar, H. 2019. Divulgación científica. En: Magaña, P. y C. Equihua (coordinadoras). *La creación de historias de ciencia. Introducción al periodismo científico.* Somedicyt y Conacyt. (en prensa)

Ziman, J., 2003. Ciencia y sociedad civil. *ISEGORÍA 28.* http://isegoria.revistas.csic.es/index.php/isegoria/article/view/503/503

7. Patricia.indd 166 12/17/19 16:35

CAPÍTULO III
LA INDUSTRIA 4.0 Y TECNOLOGÍA 5G. LOS NUEVOS CAMINOS DEL DESARROLLO 2050

8. Ismael.indd 167 12/17/19 16:41

8. Ismael.indd 168 12/17/19 16:41

El desarrollo de la Industria 4.0 y el futuro de México

Ismael López Juárez*
Luis Alberto Castillo Barrientos*
Alan de Jesús Maldonado Ramírez*
José Luis Navarro González**

SUMARIO

I. Introducción II. Pilares de la Industria (I4.0) III. El entorno de competitividad nacional-prospectiva IV. Adquisición de habilidades de producción V. Conclusiones VI. Referencias

RESUMEN

La 4ta revolución industrial impone retos para la economía mexicana y abre numerosas oportunidades de desarrollo industrial fundamentadas en los nueve pilares de I4.0. En este ensayo se hace un análisis de los requerimientos para la implementación de sistemas de producción interconectados, así como un análisis de las principales limitaciones para su correcta implementación en la industria mexicana. Limitaciones que no son solamente técnicas y de seguridad, sino de gobernanza, que permita a la triple hélice (gobierno-academia-industria) interactuar y permitir una adecuada implementación y regulación a través, por ejemplo, de clústeres organizados. Se presenta una iniciativa de esfuerzo nacional de varias instituciones para integrar un clúster de adquisición de habilidades de producción a efecto de ejemplificar la generación de fábricas inteligentes. México es la quinceava economía global y se perfila como país emergente que puede escalar a un nivel global de séptima economía en 2050 si consideramos el desarrollo de fábricas inteligentes apoyadas de los pilares de la I4.0.

* Laboratorio de Manufactura Inteligente del CINVESTAV.
** IJ Robotics SA de CV.

8. Ismael.indd 169 12/17/19 16:41

I. INTRODUCCIÓN

La economía global se sustenta en el comercio de productos y servicios para satisfacer las necesidades de un consumidor cada vez más exigente debido al desarrollo humano. Nuevas necesidades se generan, nuevos retos y por ende nuevas oportunidades. Como consumidores preferimos ordenes listas al momento o con un tiempo mínimo de espera. Por ejemplo, cuando ordenamos alimentos a domicilio, las empresas de mayor éxito son las que entregan más rápido como las empresas fabricantes de pizzas, o bien las empresas que sirven en un tiempo mínimo, como fue el caso de éxito de McDonald's al automatizar procesos y tener tiempos de espera de cuando más 30s después de realizada la orden. Esta ventaja competitiva es la que soporta a las grandes empresas y que a través de una continua innovación permiten mantenerse vigentes en el mercado. La sociedad exige satisfactores en todos los sectores, que incluye por supuesto, necesariamente, el uso de nuevas plataformas como *e-commerce* que acortan los tiempos de espera. Por ejemplo, en la industria del vestido, trajes hechos a la medida. En el sector automotriz, autos que pueden personalizarse (color, transmisión, motor, vestiduras, etc.), lo que antes fue imposible en líneas rígidas de producción. La producción de ensambles y subensamble debe ser más rápida y más barata con el uso de tecnologías de fabricación aditiva o fabricación conocida impresión 3D, la cual comenzó con impresión en plástico ABS, existiendo a la actualidad grandes avances de fabricación con el método de deposición fundida (FDM), fusión láser selectiva (SLM) y sinterización láser selectiva (SLS), por mencionar algunas aunque existen otros métodos de fabricación especial como la impresión 3D en arena, lo que permite la elaboración de moldes y herramentales metálicos complejos en tiempos mínimos de fabricación.

Para lograr una personalización de la producción se requiere una intercomunicación adecuada de los módulos de producción, que involucran también sensores y actuadores. En términos de servicios también ocurre lo mismo, el usuario común no está satisfecho, por ejemplo, si tiene que esperar minutos para ver su serie favorita o película seleccionada en su aparato receptor, se requiere un *streaming* de video en tiempo real. Existen otros servicios críticos, los cuales por su naturaleza deben ser en tiempo real, o al menos con retardo inferior al tiempo de respuesta del humano (100-200 ms), como es el caso de cirugías robotizadas a distancia en donde médicos especialistas puedan interactuar en intervenciones quirúrgicas en tiempo real. Otro tipo demandante de servicios es servicios de transporte, el advenimiento de la trasportación autónoma exige que la comunicación de vehículo a vehículo (V2V) o vehículo con todo tipo de sistemas (V2X) sea en tiempo inferior a la respuesta humana de estímulo, lo que sin duda puede

8. Ismael.indd 170 12/17/19 16:41

prevenir accidentes. Imaginemos una ciudad inteligente completamente interconectada y perfectamente sincronizada en donde los accidentes serán nulos. Estos son sólo algunos ejemplos de las necesidades de interconectividad que se requiere en la era de I4.0 tanto de productos y servicios que requieren obviamente de una plataforma tecnológica que permita una comunicación confiable e inter operatividad con todas las cosas del entorno, que es el internet de las cosas (IoT) que es parte de I4.0. En términos de producción industrial se requiere que sensores y actuadores interactúen en tiempo real de forma efectiva. Para ello se requiere un medio y forma de comunicación como la quinta generación de comunicación (5G) presente en nuestros días, y el uso efectivo de protocolos de información para poder manejar la cantidad e información adecuada, lo que es posible con IPv6 que también permite la transmisión de información con mayor número de bytes (128) y que facilita el cifrado de información y por ende la ciberseguridad e integridad de datos almacenados localmente o en el cyber-espacio.

La organización de este artículo, después de esta breve introducción, se presenta en la Sección 2 los nueve pilares de la I4.0 a efecto de comprender mejor las implicaciones tecnológicas, económicas y legales que implica para la industria nacional. Posteriormente en la Sección 3, se presenta un análisis de prospectiva nacional de la economía y su interrelación internacional con nuestros socios comerciales. Asimismo, se presenta una propuesta de amalgamar los clústeres más importantes del país con el objetivo de centralizar los esfuerzos de integración de fábricas inteligentes en el país. En la sección 4 se presenta el esfuerzo nacional de varias instituciones para integrar un clúster de adquisición de habilidades de producción a efecto de ejemplificar la generación de fábricas inteligentes. Finalmente, se exponen conclusiones del trabajo realizado.

II. PILARES DE LA I4.0

INTERNET DE LAS COSAS (IOT)

El internet de las cosas es un conjunto de tecnologías que permiten a todo tipo de dispositivos comunicarse entre sí (M2M) y hacia sistemas más complejos. Este ecosistema de dispositivos conforma un sistema ubicuo que transforma la información proveniente de sensores en datos valiosos para un sinfín de aplicaciones que van desde aeronáutica, agricultura, transporte, servicios públicos, cuidado de la salud, domótica y por supuesto la industria de la manufactura.

Un reciente estudio realizado por Juniper Research ha señalado que la cantidad de dispositivos IoT conectados superará los 38 mil millones para el año

8. Ismael.indd 171 12/17/19 16:41

2020, frente a los 13.4 mil millones estimados en 2015.[1] Este crecimiento del 285% está pronosticado en base al auge de los dispositivos *'edge computing'*, dispositivos capaces de procesar información crítica en tiempo real. Este tipo de dispositivos resultan muy útiles en labores como la conducción autónoma o tareas de exploración no tripulada. El estudio también señala que el desarrollo de estos dispositivos es crítico para el escalamiento de implementaciones de redes IoT, debido a la minimización de solicitudes de información por parte de las máquinas y sensores que se traducen en una reducción del ancho de banda, por ende, aplicaciones más eficientes y mejores tiempos de respuesta.

El IoT representa para México una oportunidad de negocios de 4,000 mdd para el año 2022 según proyecciones de la consultoría Frost & Sullivan [2], esto se refleja en un incremento del 300% respecto al tamaño actual. Indudablemente el internet de las cosas es una oportunidad para el país de alcanzar una madurez tecnológica que le permitirá aprovechar de manera más eficiente sus recursos y abrirá las puertas a todo tipo de negocios, como lo son el software como servicio (SaaS) que hoy en día vive una época dorada en nuestro país, empresas extranjeras proveedoras de servicios digitales como Uber, Netflix, Spotify, Amazon, Google por nombrar algunas, son casos de éxito con miles de subscriptores en México.

El internet de las cosas también supone una serie de retos a superar en cuanto a implementación y aplicación. El primer gran obstáculo es la infraestructura, el internet de las cosas demanda una comunicación en tiempo real y esto solo será posible con redes de alta velocidad como el 5G, con la cual México presenta un atraso respecto a otros países como Estados Unidos, Asia y algunas naciones de la Unión Europea donde el 5G ya es una realidad. Una velocidad de baja latencia (aprox 1 ms) les permitirá a los sistemas operar con fluidez y de manera eficiente. Esto es algo fundamental en la industria donde los tiempos de producción son críticos y cualquier paro en su productividad representaría para la empresa pérdidas significativas. El segundo reto es la interoperabilidad, en términos de conectividad los dispositivos IoT utilizan un conjunto muy variado de protocolos de comunicación en donde cada fabricante de dispositivos o sensores propone el suyo y los proveedores de servicios analíticos y de almacenamiento también tienen su forma particular de comunicación, todo esto ocasiona dificultades en la adopción de estas nuevas tecnologías por parte de las empresas de manufactura que emplean protocolos robustos como Modbus, Fieldbus, etc. Para mejorar esta interoperabilidad se requiere además tener protocolos adecuados de información

[1] https://www.juniperresearch.com/press/press-releases/iot-connected-devices-to-triple-to-38-bn-by-2020 Visitado Sept 29, 2019.

[2] https://ww2.frost.com/news/iot-opportunities-in-mexico-identify-verticals-to-invest-in-by-2022 Visitado Sept 30, 2019.

8. Ismael.indd 172 12/17/19 16:41

como el IPv6 que utiliza 64 bits para la dirección de la interfaz de red y 64 bits para la red, no como en el caso de IPv4 dónde la longitud es variable.

BIG DATA

El crecimiento acelerado de IoT implica que la cantidad datos generados y almacenados aumenta de manera masiva. Esta realidad presenta nuevos retos de procesamiento para obtener algún resultado útil en tiempo récord. Big Data usualmente es interpretado como una nueva tecnología para el manejo de datos como una caja negra donde se pueden verter cantidades masivas de datos y obtener la salida deseada tan solo configurando algunos parámetros. Sin embargo, el término Big Data hace referencia a resolver "problema de gran cantidad de datos" donde lo importante no es en si el número de datos almacenados, sino lo que se obtiene a partir de ellos. Algunas de las problemáticas que ataca el Big Data en la industria son la reducción de tiempo y costos, desarrollos de nuevos productos, soluciones optimizadas y la toma de decisiones inteligentes.

El término en sí es relativamente nuevo y fue acuñado por el analista Doug Laney, en su artículo que define Big Data como un problema de tres dimensiones que considera el *volumen* de datos proveniente de la gran cantidad fuentes de información y sensores IoT, la *velocidad* de procesamiento que requiere tiempos de latencia casi de tiempo real, y *variedad* de datos que es inherente a los múltiples tipos de información recabada. La complejidad de los datos requiere herramientas avanzadas de procesamiento multidimensional de datos para realizar una minería a la información, una reducción de dimensionalidad y la extracción de valor para algún proceso en específico, como control de calidad en procesos modernos de manufactura.

COMPUTACIÓN EN LA NUBE

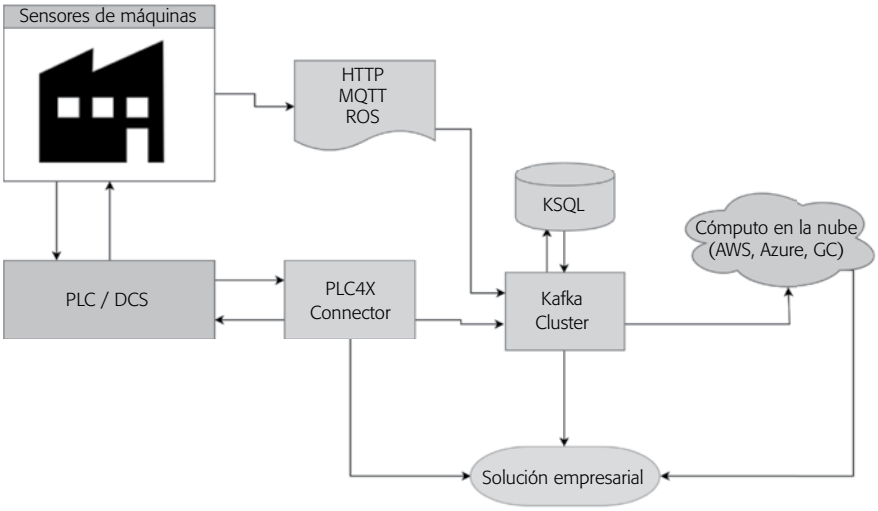
El cómputo en la nube es un servicio que permite almacenar y acceder a los datos y programas a través de internet en lugar de un medio físico tradicional como el disco duro de una computadora o un servidor local. Sin embargo, este concepto ha ido evolucionando y los servicios de cómputo en la nube hoy en día ofrecen de todo, incluyendo Inteligencia Artificial, contenedores (ej. Docker), *"serveless"* (ej. Kubernetes), bases de datos, redes dedicadas, análisis de datos, aplicaciones empresariales y también IoT.

La gran cantidad de dispositivos IoT y datos generados deben transportarse hacia un lugar para después ser analizados. El mejor lugar para hacer esto es la nube. Hoy en día existen muchas soluciones de cómputo en la nube, siendo los jugadores principales los gigantes de la industria tecnológica AWS, Microsoft

8. Ismael.indd 173 12/17/19 16:41

Azure y Google Cloud, aunque también existen iniciativas interesantes por parte de empresas dedicadas a la industria como Cisco Kinect y SIEMENS MindSphere. Todos ellos ofrecen conectividad de dispositivos IoT, almacenamiento de datos y soluciones que transforman estos datos en información valiosa para la empresa como se muestra en la Figura 1.

Fig. 1
Flujo de información de una fábrica inteligente con tecnologías open-source + cómputo en la nube de empresas privadas (Microsoft Azuer, Siemens MindSphere



SIMULACIÓN AVANZADA

Gemelos digitales es una tecnología disruptiva con la capacidad de cambiar la forma en la que las empresas diseñan sus productos, resuelven problemas complejos y colaboran entre sí. El crecimiento de "gemelos digitales" o simulaciones avanzadas es exponencial ya que un informe de Gartner afirma que actualmente el 75% de las organizaciones que implementan IoT o bien usan tecnologías de "gemelos digitales" o planean utilizarlas en un lapso de un año.[3]

El término se refiere a una réplica digital de un objeto físico, procesos o sistema que funcionan en un entorno físico. A pesar de no ser un concepto nuevo,

[3] https://www.information-age.com/gartner-digital-twins-123479330/ Visitado Sept 30, 2019.

8. Ismael.indd 174 12/17/19 16:41

la simulación digital de fenómenos físicos lleva existiendo por varias décadas, la convergencia de tecnologías emergentes como el internet de las cosas IoT y la Inteligencia Artificial han elevado a un nuevo estatus la creación de modelos digitales de entidades físicas con capacidad de simular los cambios que ocurren en tiempo real. Estas simulaciones avanzadas potenciadas por el poder del aprendizaje de máquina y la conectividad del IoT permite a empresas realizar tareas muy complejas, como la simulación de las reacciones del cuerpo humano a fuerzas externas o también como afectan las condiciones meteorológicas a un avión en vuelo. Los datos generados por esa simulación son después analizados para generar valor agregado a los productos o servicios. Algunos de estos beneficios son una mayor eficiencia en su diseño, mejores análisis predictivos y la posibilidad de colaboración. Un reporte de Markets and Markets afirma un crecimiento de mercado estimado de 35.8 mil mdd para el año 2025.[4]

SISTEMAS AUTÓNOMOS

Los sistemas en las empresas requieren autonomía y menor intervención humana para proporcionar resultados efectivos. El principal valor de los sistemas autónomos es minimizar la labor humana, especialmente en tareas aburridas, demandantes, sucias o costosas para que un humano las realice. Máquinas haciendo acciones inteligentes sin supervisión humana es uno de los principales objetivos de los investigadores de inteligencia artificial. Estas aplicaciones se han vuelto tan prominentes en una gran gama de aplicaciones industriales que son uno de los patrones más adoptados de AI en el mundo real. Las empresas de manufactura han adoptado el patrón autónomo para una gran variedad de casos de uso, que incluyen documentación automática y generación de conocimiento, procesos comerciales autónomos y robots colaborativos. Los robots colaborativos (cobots) a diferencia de los robots industriales que han existido por décadas en la industria ayudando en la línea de producción y ensamble permite la interacción hombre-máquina de forma directa y segura sin cercas de seguridad. En la actualidad existen empresas como Universal Robots que han logrado dominar el mercado de los cobots, aunque también empresas de robótica tradicional como KUKA tienen ahora su línea de cobots, parece ser que es un mercado en auge que representa una de las tendencias de la industria 4.0.

La automatización en la industria no solo se limita al medio físico, las empresas están utilizando agentes de software inteligentes destinados para tareas administrativas y empresariales, estos agentes son denominados bots y ofrecen

[4] https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/digital-twin.asp Visitado Sept 30, 2019.

8. Ismael.indd 175 12/17/19 16:41

una reducción de tiempo y costo de gran impacto en los procesos de gestión y administración, así como la atención al cliente. Esta tecnología también es conocida como "la automatización de robótica de procesos" (RPA), que es una tecnología disruptiva que plantea el uso de software con inteligencia artificial AI y capacidades de aprendizaje autónomo con la finalidad de mejorar tareas muy repetitivas que anteriormente necesitaba al humano para realizarlas. Estos bots pueden imitar a un trabajador humano, por ejemplo, pueden iniciar sesión en aplicaciones, ingresar datos, calcular números y tomar decisiones para completar tareas. Actualmente las tecnologías RPA se dividen en tres amplias categorías: Probots, Knowbots y Chatbots.

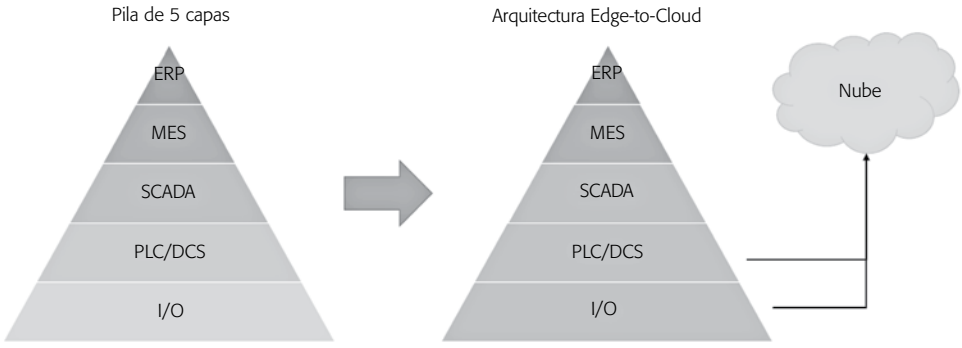
Los sistemas autónomos, ambos físicos y virtuales, son usados por empresas en una gama de aplicaciones complejas. A medida que la IA avanza, las compañías contarán con sistemas autónomos que transportan todo tipo de materiales en el entorno físico y manejan cantidades grandes y complejas de datos para encontrar cuellos de botella y aumentar la eficiencia de sus procesos con el fin de generar una mejor experiencia con sus clientes.

SISTEMAS DE INTEGRACIÓN VERTICAL Y HORIZONTAL

La nueva era digital supone una actualización de la tradicional pirámide de automatización de 5 capas, que se termina de consolidar y se mueve a hacia la nube. Se están generando nuevas arquitecturas de comunicación industrial para lograr esto. Los métodos tradicionales de comunicación de SCADA y MES centralizados generalmente dependen de servidores OC para hacer una traducción de los protocolos industriales hacia un bus de campo de protocolos compatibles con OPC. Pero los avances tecnológicos en conectividad, hardware y software permiten la creación de nuevas arquitecturas de conectividad que omiten la pila de automatización tradicional y proporciona conexión directa hacia la nube logrando un escalamiento en todas direcciones, de tal forma que los cambios transversales (entre módulos de producción, sensores) es transparente y así mismo cambios en línea vertical desde los sensores, etapas I/O hasta capas superiores de la administración de la organización como los ERP se intercomunican de forma integral y hacia la nube como se muestra en la Figura 2.

8. Ismael.indd 176 12/17/19 16:41

Fig. 2
Integración transversal y vertical de tecnologías I4.0



REALIDAD AUMENTADA (RA), REALIDAD VIRTUAL (RV) Y REALIDAD MIXTA (RM)

Una de las tecnologías disruptivas que más han evolucionado son de Realidad Aumentada (RA) y Realidad Virtual (RV), que tuvieron sus orígenes en la industria de los videojuegos y que tienen un mercado pronosticado de más de 800 mil millones de dólares para el 2025 según un análisis de Zion Market Research.[5] Esta tecnología ha madurado bastante a lo largo de los años y cuenta hoy en día con dispositivos accesibles y una fundación sólida de software muy respaldada por la comunidad y las empresas de tecnología. Aplicaciones van desde la asistencia a clientes en tiendas departamentales como espejos inteligentes hasta menús de comida interactivos en los smartphones. Pero no solo se limita a ofrecer a los clientes una vista atractiva de sus negocios, también plantean oportunidades de mejora en la línea de producción, el mantenimiento y el adiestramiento del personal.

La RA agrega elementos digitales a una vista en vivo a menudo mediante el uso de la cámara en un teléfono inteligente. Ejemplos de experiencias de realidad aumentada incluyen lentes Snapchat y el juego Pokemon Go. En cambio, la RV implica una experiencia de inmersión completa que excluye el mundo físico. Usando dispositivos de realidad virtual como HTC Vive, Oculus Rift o Google Card-

[5] https://www.globenewswire.com/news-release/2019/02/21/1739121/0/en/Global-Augmented-and-Virtual-Reality-Market-Will-Reach-USD-814-7-Billion-By-2025-Zion-Market-Research.html Visitado Sept 30, 2019.

8. Ismael.indd 177 12/17/19 16:41

board, los usuarios pueden ser transportados a una serie de entornos imaginarios y del mundo real como, por ejemplo, el centro de una colonia de aves, ambientes peligrosos como minas o bien líneas de producción o en entrenamiento de vuelos. Por otro lado, la realidad mixta RM, combina elementos de RA y RV en donde los objetos del mundo real y digitales interactúan. La tecnología de Realidad Mixta (RM) está comenzando a despegar con HoloLens de Microsoft, uno de los aparatos de realidad mixta temprana más notables, que recientemente lanzó la nueva versión HoloLens 2 que permite un uso más cómodo de los lentes y que promete extenderse en el ámbito industrial. Por ejemplo, será factible el entrenamiento para el armado y desarmado de productos industriales con mayor eficiencia, ya que el operador es entrenado en el equipo real y cuya secuencia de operación es mostrada en pantalla, de forma tal que el proceso de enseñanza interactiva es mucho más rápido. La digitalización de ambientes y su inclusión en entornos virtuales es posible a través de herramientas como el Structure Core que fue creado teniendo en cuenta a los robotistas, desarrolladores, piratas informáticos, investigadores e I + D. El Structure Core viene con un SDK, que incluye acceso de bajo nivel a flujos de datos desde cada sensor (incluido un sensor inercial (IMU) de 6 ejes), y que se puede usar con el motor de percepción de Occipital para permitir el seguimiento posicional con latencia ultra baja.

FABRICACIÓN ADITIVA

Como se mencionó al principio, la competitividad de las empresas está fuertemente ligada a su capacidad de innovación ya que los ciclos de vida de los productos son cada vez más cortos, el cliente demanda menores tiempos de respuesta y productos personalizados. En el sector automotriz, los autos pueden personalizarse (color, transmisión, motor, vestiduras, etc.), lo que antes fue imposible en líneas rígidas de producción. La producción de ensambles y subensamble es más rápida y más barata con el uso de tecnologías de fabricación aditiva o fabricación conocida como impresión 3D. Inicialmente tuvo un auge la impresión en plástico ABS, existiendo en la actualidad grandes avances de fabricación principalmente con el método de deposición fundida (FDM), fusión láser selectiva (SLM) y sinterización láser selectiva (SLS), por mencionar algunas aunque existen otros métodos de fabricación especial como la impresión 3D en arena silica, lo que permite la elaboración de moldes de arena complejos en tiempos mínimos de fabricación.

Los métodos de fabricación aditiva disponibles en la actualidad son la impresión 3D de fusión de lecho de polvo metálico (SLS, SLM, DMP), la deposición de energía dirigida (DED), la extrusión de filamentos metálicos (FFF, FDM), la aplicación por chorro de material y chorro de aglutinante y por DLP (resina). Muchos

8. Ismael.indd 178 12/17/19 16:41

profesionales e industriales están adoptando la tecnología de impresión 3D en metal para crear piezas personalizadas impresas en 3D bajo pedido. Las impresoras 3D de metal son relativamente caras, en su mayoría entre $ 80K y casi $ 1M.

La manufactura aditiva proporciona a las empresas la posibilidad de acelerar la producción de nuevos productos, desarrollando prototipos realistas de bajo costo que permiten evaluar defectos en el diseño de manera realista. La calidad de las piezas producidas por medio de esta técnica ha mejorado tanto que incluso algunos fabricantes ya utilizan este método para realizar piezas que están destinadas al cliente final y no solamente prototipos.

SEGURIDAD CIBERNÉTICA

El último pilar cuyo reto es la integridad y la privacidad de los datos tiene que ver con lo que se conoce como Ciberseguridad. Existen hoy en día muchas brechas de seguridad en los protocolos más usados en el IoT. Muchos de los proveedores de dispositivos IoT usan por defecto contraseñas estáticas que pueden ser fácilmente descubiertas por atacantes maliciosos y tomar control de estos dispositivos. Uno de los casos más conocidos de este tipo de hackeos es su uso en los ataques de denegación de servicio (DOS) que sucedió en el 2016 donde se utilizó una red de dispositivos IoT en una botnet llamada Mirai, que resultó ser la más grande de su tipo en toda la historia.[6] La víctima de este ataque fue una de las compañías más grandes de resolución de nombre de dominios (DNS), que es básicamente la base de la navegación por internet y esto generó la caída de internet más grande en el mundo durante un periodo considerable. Sin duda existe un gran esfuerzo por parte de los fabricantes de dispositivos y proveedores de servicio para ofrecer soluciones de seguridad tanto a nivel hardware como software, por lo que es importante que todo aquel que utilice sistemas de IoT considere estos riesgos.

Por definición, los dispositivos IoT se encuentran permanentemente conectados a internet, donde además de ofrecer valiosos datos para el producto, proceso o cliente final, también ofrecen una puerta de entrada a cibercriminales que buscan hacer uso ilícito de sus capacidades o información para fines maliciosos. Otro caso más reciente que tiene una relación directa con el Internet Industrial de las Cosas (IIoT), sucedió en agosto de 2019, donde un grupo de hackers lograron apagar sistemas de infraestructura críticos dentro del centro de electricidad y agua de Baréin. Este caso es particularmente alarmante por que los atacantes lograron

[6] https://www.theguardian.com/technology/2016/oct/26/ddos-attack-dyn-mirai-botnet Visitado Sept 30, 2019.

8. Ismael.indd 179 12/17/19 16:41

apuntar directamente a dispositivos de tecnología operativa (OT) que son los dispositivos que se utilizan en todos los procesos industriales (como PLC's y DCS). Muchos de estos dispositivos son inseguros por naturaleza, sin autenticación y carentes de algún tipo de cifrado. Estos sistemas solían operar de forma aislada en una línea de producción o una fábrica y por lo tanto no había necesidad del mismo tipo de seguridad que requerían dispositivos IT. Los ingenieros OT dependían de la brecha física que existía en las redes de sus dispositivos, pero con el IoT esas brechas ya no existen. Al mismo tiempo la infraestructura IT no estaba preparada para la escala masiva de dispositivos OT que se incorporan ahora a la red. El protocolo TCP/IP tiene más de 45 años y se creó con la finalidad de conectividad, no para preservar la seguridad de dispositivos OT. La convergencia actual entre redes IT-OT expone grandes riesgos de seguridad informática.

Los sistemas actuales de protección IT como los firewalls y las redes VPN solo protegen cierto tipo de tráfico denominado nort-south, como las conexiones de internet entrantes, pero dejan de lado otro tipo de comunicación east-west. Esto significa que una vez que el atacante logra entrar la red puede escalar su ataque horizontalmente a toda la red de dispositivos. Existen, sin embargo, estrategias de seguridad que ayudan a reducir los riesgos provenientes de esta nueva conectividad, como son la Infraestructura de llave pública (PKI), el Cifrado de comunicaciones, las Funciones de seguridad de punto final como antivirus, antimalware, prevención de intrusos y firewalls y finalmente la Microsegmentación que logra una protección est-west sin depender de firewalls que solo permite conexiones que han sido autentificadas y autorizadas.

III. EL ENTORNO DE COMPETITIVIDAD NACIONAL-PROSPECTIVA

En el entorno global y a medida que el Internet de las cosas (IoT) se convierte en corriente principal, el número de dispositivos conectados se ha incrementado y se espera que en 2022 se llegue a un número superior a 20 billones. Los consumidores mexicanos por otro lado, están haciendo de las compras en internet un hábito frecuente: mientras que en 2017 solo 7% recurría al *e-commerce* de manera semanal, durante 2018 esa cifra se incrementó en un nivel de 38%.[7] La compra de productos a la medida cada vez impacta más el mercado, lo que sin lugar a dudas influye en la fabricación de productos. De esta forma, la combinación de automatización y digitalización está revolucionando la fabricación y los servicios por igual. Este proceso está aumentando la eficiencia, optimizando la

[7] https://www.forbes.com.mx/el-panorama-de-e-commerce-en-mexico-en-2019/ visitado 15 sep 2019.

8. Ismael.indd 180 12/17/19 16:41

logística y haciendo los precios más transparentes y la competencia más intensa. Al mismo tiempo, está reforzando la necesidad de las empresas de mantenerse por delante de la curva de innovación. Cada vez más, las fuerzas tecnológicas están empujando a las empresas a innovar o desaparecer. La duración de los ciclos de vida de los productos y su administración (PLM, por sus siglas en inglés) ha disminuido en todas las industrias, en un 24 por ciento entre 1997 y 2012 (The Global Competitiveness Report 2016–2017), por lo que la manufactura debe adaptarse a dichos cambios para comprender mejor cómo la Cuarta Revolución Industrial está alterando la forma en que entendemos la competitividad, el crecimiento y, fundamentalmente, la prosperidad de los países. La importancia global de esta revolución es innegable y México debe participar activamente para impulsar su desarrollo y competitividad. Los dos indicadores globales más importantes de competitividad según el Instituto Mexicano de Competitividad (IMCO) son los publicados en el Global Competitiveness Report 2017-2018 del World Economic Forum (WEF) y el Índice publicado por el International Institute for Management Development (IIMD). En 2019 el IIMD colocó a México en el lugar 50 entre 63 países evaluados por el organismo (en 2013 ocupaba el lugar 32)[8] y se localiza en el lugar 51 de 137 países evaluados según el WEF (The Global Competitiveness Report 2017–2018). Los aspectos evaluados se clasifican en 3 áreas para determinar el posicionamiento de los países evaluados que son el desempeño de las instituciones públicas, 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 por tanto para elevar su competitividad-productividad, reflejado en la riqueza del país y generación del PIB.

El PIB nacional está conformado por actividades primarias, secundarias y terciarias. En términos globales, México es un país de servicios pues casi 2/3 partes del PIB provienen de este sector, seguido por el sector manufacturero con una generación cercana a 1/3 del PIB y en mucho menor medida el sector primario. Dentro de las actividades del sector secundario, las manufacturas encabezan las actividades secundarias. Las principales aportaciones del sector se observan en los estados del centro, bajío y norte. Los estados de Nuevo León, Estado de México, Jalisco, Coahuila, Campeche, Guanajuato, Ciudad de México, Sonora, Chihuahua, Baja California, Veracruz, Tabasco y Puebla aportaron el 73.3 % del PIB durante 2017 (INEGI,2017). En términos de crecimiento en la misma estadística oficial del 2017 los estados que crecieron en términos relativos más del 5% de su PIB con respecto al año anterior son Baja California Sur, Puebla, Morelos, Estado de

[8] https://worldcompetitiveness.imd.org/rankings/wcy Visitado marzo, 05, 2019.

8. Ismael.indd 181 12/17/19 16:41

México, Baja California, Coahuila y San Luis Potosí, que nuevamente son estados del norte, centro y bajío del país. De acuerdo a estas estadísticas se observa como estas regiones son las de mayor desarrollo, mayor competitividad y dinamismo económico, cuyos esquemas deben seguir estados con menor desarrollo en aras de un mejor equilibrio económico nacional.

Si comparamos la aportación y crecimiento del PIB con el crecimiento poblacional que se muestra en la Figura 3, podemos observar que existe una analogía directa con la densidad de población en los estados del corredor norte-bajío-centro. Así mismo podemos ver un desequilibrio en términos de aportación del PIB nacional con respecto a la densidad de población con los estados del Sur-Sureste con marcadas áreas de oportunidad de crecimiento.

Fig. 3
Densidad Poblacional (CONAPO, 2014)

Siendo el sector manufacturero el que mayor aporta al PIB es interesante analizar su conformación y compararlo con el entorno internacional ya que la economía mexicana es actualmente la quinceava a nivel global. Si analizamos el entorno, la idea fundamental es analizar los mecanismos que podrían articular el crecimiento en un entorno globalizado que incluye evidentemente la triple hélice, el gobierno, la academia y la industria. De este análisis, debemos ubicar el papel fundamental que tiene el uso de internet en México, su crecimiento y la permeabilidad de tecnologías IoT en el sector productivo, en particular las manufacturas,

8. Ismael.indd 182 12/17/19 16:41

amén de incrementar su competitividad y marcar un desarrollo franco. Los pronósticos colocan a la economía mexicana como la onceava economía mundial para el año 2030 según un estudio de HSBC (Janet Henry, James Pomeroy, 2018) y como la séptima economía emergente en el mundo según un estudio de Pw[9] en el año 2050.

La generación del PIB está relacionado también al nivel y tipo de exportaciones/importaciones de un país, que en el caso de México es muy similar al de países desarrollados. La complejidad de la economía mexicana al analizarla en el observatorio de complejidad económica del MIT[10] y compararla con nuestro mayor socio comercial, los Estados Unidos (a quien exportamos el 81% de nuestra producción), se observa que existe una fuerte similitud en cuanto a los sectores de producción. Asimismo, también se observa que los Estados Unidos representan para México la fuente del 47% de nuestras importaciones. En contraparte para Estados Unidos somos su 3er socio comercial para exportaciones después de Canadá y somos el 2do proveedor de importaciones después de China. Nuestra economía en términos de importación/exportación sigue los patrones de nuestros socios comerciales más importantes Estados Unidos, China y Canadá y en especial de la industria de la transformación, sector secundario, a diferencia de otras economías como la chilena, cuya economía está basada en el sector primario, el cual representa más del 50% de sus exportaciones. En contrapartida, el sector manufacturero es incipiente en aquel país.

En la Figura 4 podemos ver los sectores de exportaciones del 2017 de México en donde vemos una diversidad del sector manufacturero en las áreas de industria automotriz, aeroespacial, instrumentación médica, industria eléctrica y electrodomésticos. El comportamiento del patrón es similar en importaciones.

La prospectiva del sector industrial en México requiere un análisis de la cadena productiva en el sector manufacturero en especial en sectores como el espacial y automotriz y en donde se observa que los principales eslabones de la cadena productiva son el ensamble y la soldadura en la producción de carrocerías, motores, sistemas de transmisión, suspensiones, frenos, arneses, y accesorios, cuyas estrategias de competitividad requieren de flexibilidad y rápida reconfiguración de los sistemas de producción. Es en este sentido que la conectividad a través de las Tecnologías de Información y las Comunicaciones (TIC) a través del Internet y en específico del IoT juegan un papel primordial y transversal en el ecosistema de producción nacional y que engloba no solo a los sectores productivos, como

[9] The long view: how will the global economic order change by 2050?. PwC https://www.pwc.com/gx/en/world-2050/assets/pwc-world-in-2050-summary-report-feb-2017.pdf Visitado Sept 30, 2019.

[10] https://oec.world/en/ Visitado Sept 30, 2019.

8. Ismael.indd 183 12/17/19 16:41

se muestra en la Figura 5, sino también a la Academia y el Gobierno que son usuarios de dichas tecnologías.

Fig. 4
Exportaciones de México

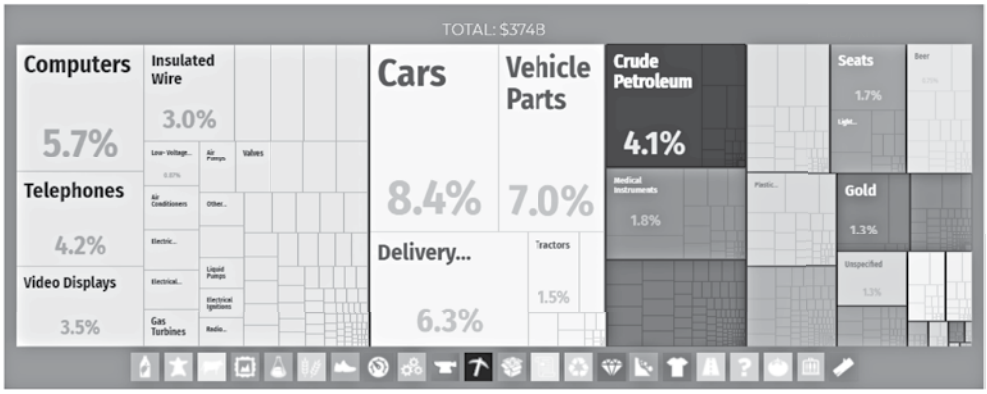
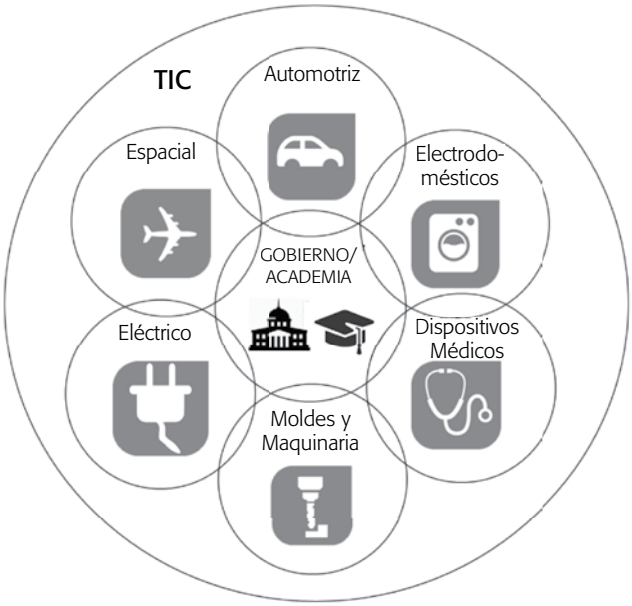


Fig. 5
Clústeres en México



8. Ismael.indd 184 12/17/19 16:41

Es deseable amalgamar los seis sectores medulares en México que se muestran en la figura 5 y que tienen mayor impacto en la productividad nacional: automotriz, espacial, electrodomésticos, eléctrico, dispositivos e instrumental médico y de moldes y maquinaria. Estos clústeres a su vez requieren de entidades que aglutinen cada clúster por sector, como es el ejemplo de los clústeres de TI en MxTI que incluye los clústeres de TI del país: INNOVATIA, ITBaja, Prosoftware, Cluster TI Chiapas, CITC, CLUSTERTIC, CLUTIG, IJALTI, CIAT, CLUSTERTIM, MITC, CSOFTMTY, Disruptech IT Clúster, Cluster Puebla TIC, Vórtice IT, Sinaloa IT Clúster, Industria del Software de Mazatlán, CITIC y CLUSTEC. Asimismo, cada uno de los seis clústeres industriales pueden crear sinergia interna en su propio sector como en el caso sector automotriz, cuyo clúster es representado en el país por la Red Nacional de clústeres de la Industria Automotriz que engloba 9 clústeres regionales. Una parte fundamental para el ecosistema de innovación es la inclusión del sector académico y del gobierno. El primero de estos, es un sector importante para la generación de conocimiento básico y el segundo como orquestador del financiamiento público para la inversión de capital de riesgo en innovación y de ello el instrumento principal del gobierno federal es el CONACyT, y algunas secretarias de Estado.

Mediante la consolidación de clústeres medulares se generará un entorno favorable para el desarrollo de la innovación digital en México. Un México digital apalancará el desarrollo del aparato productivo mediante los pilares de la I4.0 como se ha mencionado en un inicio, de tal forma de incluir a las tecnologías de la información como columna vertebral. México requiere de pasar de un nivel maquilador a un nivel de generación de conocimiento aplicado, en donde los nuevos sistemas de producción en conjunto apoyados por los pilares de la I4.0 puedan generar las celdas inteligentes de producción. Dichas celdas de producción, se busca que no solo se comuniquen en tiempo "casi real" y tomen decisiones propias en condiciones adversas de producción (falta de materiales, daño de herramentales, cambios de diseño, nuevas órdenes asíncronas de pedidos, falla de maquinaria, etc. etc.), sino que se reconfiguren de forma automática de tal forma de equilibrar la demanda de bienes y servicios. En este ámbito la robotización de las fábricas inteligentes juega un papel importante. La interacción hombre-máquina se torna indispensable durante la colaboración de labores complejas de producción entre hombre-robot. Las fábricas en los próximos años tendrán la capacidad de detección y reconocimiento de fallas de producción en tiempo real, planificación inteligente de tareas y en general la optimización de los recursos mediante algoritmos que tomen en cuenta, no solamente las herramientas, materiales, y habilidades de una fábrica, sino de una red coordinada de fábricas inteligentes. Es fundamental contar con tecnologías avanzadas que

8. Ismael.indd 185 12/17/19 16:41

permitan poner a la vanguardia la puesta en marcha de estas fábricas inteligentes con celdas de producción con enfoque Industria 4.0 para hacer frente a los retos tecnológicos en el entorno global en el largo plazo, y en el corto plazo, recuperar su posicionamiento productivo en el contexto nacional.

IV. ADQUISICIÓN DE HABILIDADES DE PRODUCCIÓN

Los robots industriales son elementos centrales de producción y protagónicos en las fábricas I4.0. Los robots son máquinas confiables para aprender las tareas principales de producción como son tareas de ensamblaje y soldadura. Una prueba canónica de ensamble entre la comunidad de robótica, es la evaluación de la capacidad del robot insertando una barra en agujero. Un robot que sea adaptable para el ensamblaje necesita aprender la tarea demostrada al acelerar la operación y seguir trayectorias más cortas a medida que el robot se vuelve más experto (Navarro, López, Rios, Ordaz, 2015). Otra habilidad importante del robot es aprender los parámetros de soldadura para que un robot pueda generar geometrías de cordón específicas sin conocimiento previo, lo cual ha sido una gran preocupación en la industria, sobre todo para disminuir los niveles de retrabajos y scrap. Los sistemas inteligentes reducen el complejo proceso de aprendizaje a un sistema de entrada-salida, donde el proceso se aprende automáticamente sin supervisión humana. En otras palabras, el sistema está entrenado para predecir la geometría del cordón de soldadura utilizando datos reales de entrenamiento exploratorio (Aviles, Cabrera, López, 2015).

Las células inteligentes de producción deben comunicarse de manera efectiva en un entorno complejo que también requiere una fácil reconfiguración y escalabilidad. Para proporcionar estas habilidades a una celda de fabricación formada típicamente por robots industriales, unidades lineales, unidades de posicionamiento, cintas transportadoras, máquinas CNC, se requiere un sistema que integre esa facultad a las celdas, conocido como middleware, que permite la comunicación con diferentes protocolos y canales de comunicación, creando así una célula de fabricación distribuida, lo que permite tener una producción real con diferentes productos. Los robots tienen que adaptarse en tiempo real debido a un cambio de producto por demanda o escasez de materia prima.

El aprendizaje de habilidades motoras de manipulación es una habilidad que los robots necesitan desarrollar para adaptarse adecuadamente a los entornos cambiantes. Para lograr tal comportamiento, la inteligencia debe construirse como un complemento para los controladores de robot actuales. En esta área de fabricación en constante cambio, los robots generalmente no son independientes, sino que se combinan con otras máquinas del mismo tipo, es decir, robots

8. Ismael.indd 186 12/17/19 16:41

o máquinas similares (por ejemplo, máquinas CNC) o sujetos totalmente diferentes e independientes, como seres humanos. Se prevé que las nuevas fábricas inteligentes reclamarán más atributos a los robots en el futuro para que pueda producirse una interacción entre humanos y robots. Se necesitan investigaciones para comprender el comportamiento humano y de los robots, de modo que no solo se logre la colaboración, sino que también se aprenda la comprensión y la verdadera adaptación en una celda de fabricación inteligente. En este sentido, existen propuestas interesantes de conectividad como el esfuerzo de entidades académicas para investigar en torno a las fábricas inteligentes I4.0 como se muestra en la Figura 6.

Fig. 6
Red de investigación de I4.0

Las entidades académicas que se indican en la Figura 6 tienen celdas demostrativas de producción robotizada que incluyen los procesos medulares de producción de soldadura y/o ensamble. La investigación actual busca la conectividad a través de IoT en donde todos los elementos se encuentran conectados y la información residente en la nube de acuerdo a la plataforma Smart^2 Factory 4.0.[11] SMF4.0 es una plataforma empresarial de monitoreo y control de dispo-

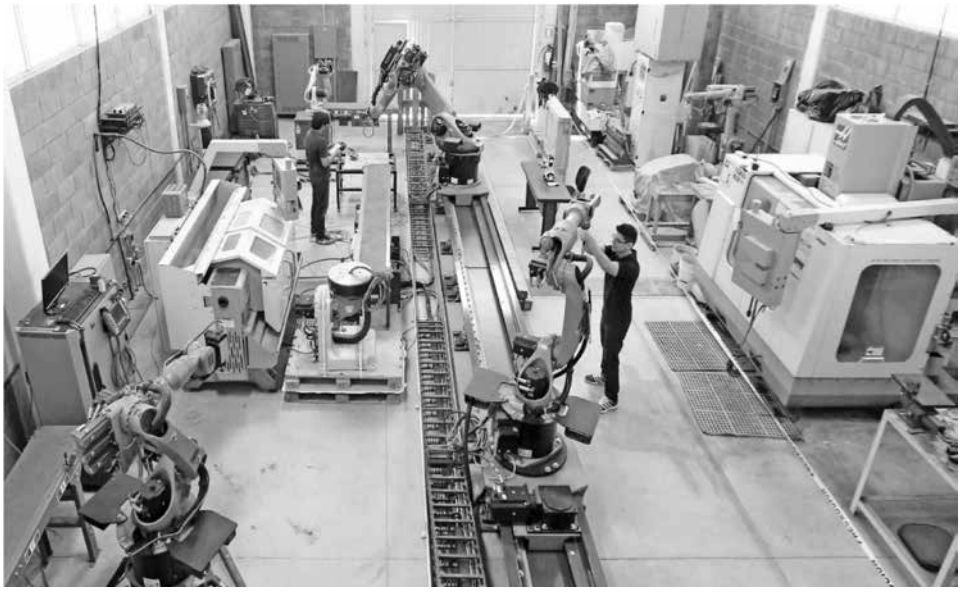
[11] Smart^2 Factory 4.0. Technical Report V1.0. IJ Robotics SA de CV, 2018.

8. Ismael.indd 187 12/17/19 16:41

sitivos industriales como Robots, CNCs, analizadores, etc. Permite el control de robots industriales en modo esclavo y monitorea sus variables de proceso como (temperatura de motores, variables articulares, posición de efector final, corriente de arco, voltaje de arco, etc.). La plataforma permite implementar modelos de producción a través de una REST API. La solución cuenta una interfaz de experiencia de usuario (UX) que permite visualizar las variables del robot en tiempo real. Adicionalmente, cuenta con un módulo IA para usuarios expertos en el desarrollo de programación en C++ o JavaFx cuyo motor de aprendizaje basado en redes neuronales artificiales permite la integración de señales provenientes de sensores (fuerza/torque, visión, termografía, RGBD, etc.). El módulo permite que se configure una celda de producción y los robots sean comandados en modo esclavo cerrando el lazo de control. Asimismo, permite el aprendizaje en línea de nuevas tareas. La imagen de un prototipo de fabrica inteligente en el laboratorio de Manufactura inteligente del CINVESTAV se muestra en la Figura 7, mientras que la Figura 8 muestra la interfaz de operación del SMF4.0.

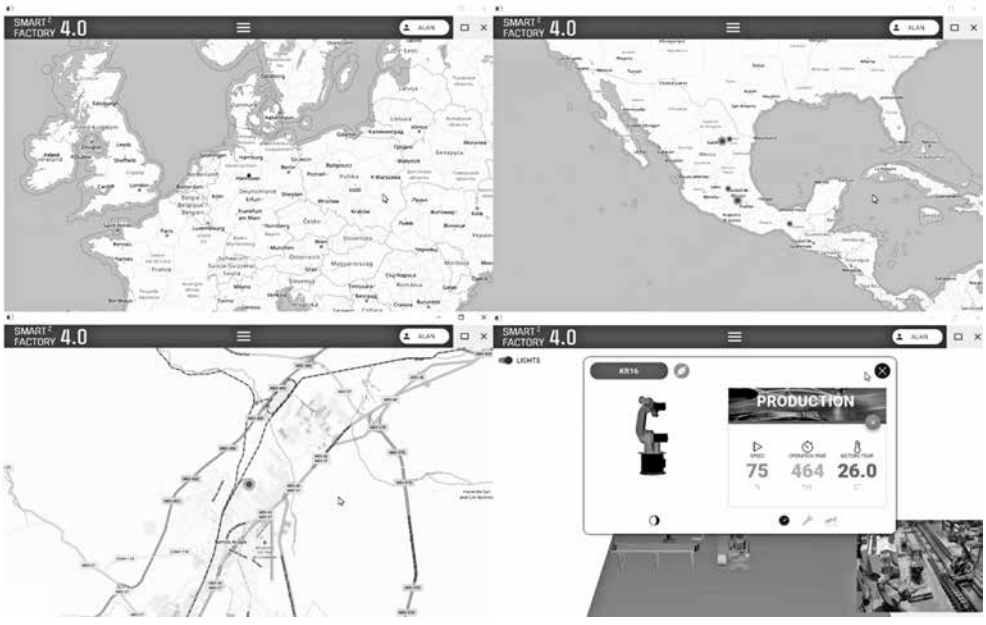
México tuvo durante 2018, el honor de figurar en la agenda mundial al ser declarado país invitado en la feria más importante del mundo, cuna de la Industria 4.0 en Alemania, la feria Hannover Messe. México presentó un pabellón

Fig. 7
Fabrica inteligente comandada por SMF4.0



8. Ismael.indd 188 12/17/19 16:41

Fig. 8
Plataforma Smart^2 Factory 4.0



de desarrollo nacional de TI e IIoT donde varios clústeres estuvieron presentes. Se presentó también la plataforma SMF4.0 que conectó la celda de producción inteligente en CINVESTAV y se demostró la conectividad además de verificar los tiempos de latencia. El esfuerzo institucional continúa, se han desarrollado algoritmos de IA que consideran el aprendizaje distribuido en la nube. Se han tenido resultados alentadores tanto en los laboratorios de la UNAM como en el CINVESTAV, en donde la transferencia de habilidades de reconocimiento de objetos se ha demostrado[12] en términos simples, un robot aprende a reconocer objetos en una de las unidades remotas y dicho conocimiento generado es enviado a un repositorio a la nube, cuyo conocimiento es utilizado por otro agente robótico inteligente en otro extremo. Esto es, enseñando a otro robot distante a realizar una tarea mediante conocimiento compartido. Investigaciones actuales continúan en procesos de ensamble y soldadura de tal forma de que el conocimiento sea

[12] Un marco de trabajo para adquirir y compartir conocimientos entre robots industriales heterogéneos en la era I4.0. Tesis de Maestría. Robótica y Manufactura Avanzada, Cinvestav-Unidad Saltillo, 2019. IIoT: Shared Knowledge Among Robots for Artificial Vision Tasks.

Marco Rutiaga, Ismael Lopez, Reyes Ríos, Luis Castillo, Mario Peña, Román Osorio 2018 XX Congreso Mexicano de Robótica (COMRob), Ensenada, B.C., México, 2018, pp. 1-6.

8. Ismael.indd 189 12/17/19 16:41

procesado y compartido en la nube de donde elementos remotos pueden ser utilizados. Se prevé una mayor conectividad con el CIDESI en la unidad Monterrey con la celda de producción de doble brazo industrial para ensamble mecánico, así como la conectividad para realizar labores de maquinado y manufactura aditiva empleando método de deposición en la celda de CIATEQ empleando la plataforma SMF4.0. Se tiene contemplado como resultado de la iniciativa que, en un futuro próximo en 2050, las fabricas no tengan mas elementos robotizados que aprender, ya que el conocimiento compartido en la nube, les permitiría aprender de forma inmediata, dicho en términos simples pudiera ser posible hacer cambios completos de fabricación de nuevos modelos mediante el aprendizaje en línea de todos los robots en una planta inteligente.

V. CONCLUSIONES

El Desarrollo de Industrias 4.0 para el Futuro de México demanda una fuerte conectividad de dispositivos en la industria nacional. Se requiere de una conectividad de tipo sensor-sensor, maquina-maquina, tanto de tipo local, como distribuido en diferentes latitudes aprovechando los pilares del entorno I4.0. Actualmente la latencia, es decir el retardo en las comunicaciones es un tema que ya se ha resuelto con la comunicación con tecnologías como 5G en donde se tienen tiempos de respuesta de 1ms, lo que permite la actuación en tiempo real de procesos críticos y de seguridad, no solo en la industria, sino en otros ámbitos como son los vehículos autónomos. Otro elemento importante para la efectiva implementación de fábricas inteligentes en tiempo inmediato es la rápida evolución de los algoritmos de inteligencia artificial que en conjunto con el acelerado desarrollo de hardware permite que algoritmos de aprendizaje actúen en tiempo de respuesta inmediata, lo que permitirá además de ello, la rápida conectividad hacia la nube, facilitará su procesamiento y almacenamiento de conocimiento disponible para otras fábricas inteligentes.

México no solo está inmerso en este ecosistema de innovación, sino es un país que siendo la quinceava economía a nivel mundial, esta pronosticado por consultoras importantes a tener un papel importante en la agenda internacional como economía emergente. Para lograr destacar, se requiere que la triple hélice (gobierno, industria y academia) participe activamente, se continúen los esfuerzos de conjuntarlos mediante clústeres que permitan potenciar los elementos de innovación. De ser así, México escalará a ser la séptima u octava economía mundial, el reto es nuestro, el escenario está listo, la oportunidad, presente.

8. Ismael.indd 190 12/17/19 16:41

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieres agradecer el apoyo de las siguientes instituciones que han hecho posible esta investigación a lo largo de 23 años: UNAM, Rolls-Royce and Associates, The Nottingham Trent University, CIATEQ, CIDESI, CONACyT, German Academic Exchange Service DAAD, CONCyTEQ, Department of Cognitive Science-Boston University, COMIMSA, Sheffield Hallam University, Ecole Centrale de Lille, IEEE-Cono Sur, IJ Robotics SA de CV y CINVESTAV.

VI. REFERENCIAS

https://www.juniperresearch.com/press/press-releases/iot-connected-devices-to-triple-to-38-bn-by-2020. Visitado Sept 29, 2019.

https://ww2.frost.com/news/iot-opportunities-in-mexico-identify-verticals-to-invest-in-by-2022. Visitado Sept 30, 2019.

https://www.information-age.com/gartner-digital-twins-123479330/ Visitado Sept 30, 2019.

https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/digital-twin.asp Visitado Sept 30, 2019.

https://www.globenewswire.com/news-release/2019/02/21/1739121/0/en/Global-Augmented-and-Virtual-Reality-Market-Will-Reach-USD-814-7-Billion-By-2025-Zion-Market-Research.html Visitado Sept 30, 2019.

https://www.theguardian.com/technology/2016/oct/26/ddos-attack-dyn-mirai-botnet Visitado Sept 30, 2019.

https://www.forbes.com.mx/el-panorama-de-e-commerce-en-mexico-en-2019/ visitado 15 sep 2019.

The Global Competitiveness Report 2016–2017.

Klaus Schwab (Editor). World Economic Forum (WEF). Geneva Copyright © 2016. ISBN-13: 978-1-944835-04-0

The Global Competitiveness Report 2017–2018. Klaus Schwab (Editor). World Economic Forum (WEF). Geneva Copyright © 2017. ISBN-13: 978-1-944835-11-8

https://worldcompetitiveness.imd.org/rankings/wcy Visitado marzo, 05, 2019.

INEGI. Producto interno bruto por entidad federativa 2017. Comunicado de prensa núm. 644/18- 10 de diciembre de 2018.

Janet Henry and James Pomeroy, *The World in 2030 -Our long-term projections for 75 countries*

HSBC. ECONOMICS GLOBAL. September 2018 https://enterprise.press/wp-content/uploads/2018/10/HSBC-The-World-in-2030-Report.pdf Visitado Sept 30, 2019.

8. Ismael.indd 191 12/17/19 16:41

The long view: how will the global economic order change by 2050?. PwC https://www.pwc.com/gx/en/world-2050/assets/pwc-world-in-2050-summary-report-feb-2017.pdf Visitado Sept 30, 2019.

[https://oec.world/en/ Visitado Sept 30, 2019.

J.L. Navarro-Gonzalez, I. Lopez-Juarez, R. Rios-Cabrera, K. Ordaz-Hernández *On-line knowledge acquisition and enhancement in robotic assembly tasks. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. Volume 33, Pages 78–89. Special Issue. June, 2015. ISSN: 0736-5845. Disponible: http://dx.doi.org/10.1016/j.rcim.2014.08.013.

J F Aviles Viñas, R Rios Cabrera, I Lopez Juarez *Online Learning of Welding Bead Geometry in Industrial Robots. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology.* Springer, Vol 83, No. 1 pp 217-231. July, 2015. ISSN: 0268-3768 Disponible: http://dx.doi.org/10.1007/s00170-015-7422-6

Smart^2 Factory 4.0. Technical Report V1.0. IJ Robotics SA de CV, 2018.

Un marco de trabajo para adquirir y compartir conocimientos entre robots industriales heterogéneos en la era I4.0. Tesis de Maestría. Robótica y Manufactura Avanzada, Cinvestav-Unidad Saltillo, 2019.

IIoT: Shared Knowledge Among Robots for Artificial Vision Tasks. Marco Rutiaga, Ismael Lopez, Reyes Ríos, Luis Castillo, Mario Peña, Román Osorio 2018 XX Congreso Mexicano de Robótica (COMRob), Ensenada, B.C., México, 2018, pp. 1-6.

8. Ismael.indd 192 12/17/19 16:41

Agenda de políticas públicas y convergencia del conocimiento. Dialogo y sinergias entre la comunidad científica y empresarial para la industria 4.0

Héctor Edgar Buenrostro Mercado*

SUMARIO

I. Introducción II. De la incorporación de las TIC a la producción y a la industria 4.0 III. Condiciones y agendas para el desarrollo de la industria 4.0 en el mundo IV. La formulación de una agenda para la industria 4.0 en México V. Elementos para una agenda para la industria 4.0 en México VI. Conclusiones VII. Bibliografía

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los temas que en los últimos tiempos ha tenido una amplia difusión tanto en el ámbito académico como en la sociedad en su conjunto, ha sido la llamada Industria 4.0, resultado del creciente uso de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en los diferentes aspectos de la producción y el consumo. Surge de la incorporación de sistemas ciber-físicos, que se refieren a aquellos que articulan las máquinas con el mundo digital (Casalet, 2018), generando, transmitiendo, almacenando y analizando datos a través de algoritmos de inteligencia artificial en tiempo real para la toma de decisiones sin la intervención del ser humano.

Pero no solo se refiere al uso de la tecnología en las empresas, sino que es un término que incorpora una serie de elementos técnicos, económicos y sociales que modifican la productividad, la eficiencia, la cuota de mercado y la rentabilidad de las empresas. Además, establecen cambios al interior de las organizaciones, así como a los procesos y usos de la información y comunicación y el desarrollo

* Investigador, Centro de Investigación e Innovación en TIC (INFOTEC).

9. Hector.indd 193 12/17/19 16:42

de nuevas modalidades de acceso al conocimiento (Rivas y Stumpo, 2013; Bayo-Moriones y Lera-López, 2007; Cepal, 2013).

Para el caso mexicano, donde la manufactura se ha desarrollado con base en la oferta de productos intensivos en mano de obra con bajos salarios, resulta fundamental impulsar la implementación y el desarrollo de políticas públicas de apoyo a la Industria 4.0, ya que, se corre el riesgo de una desindustrialización en beneficio de los países desarrollados (Prause and Atari, 2017); debido a que este nuevo modelo productivo requiere de recursos humanos altamente calificados en temas como la digitalización, el análisis de datos, el diseño y logística, donde las actividades repetitivas que agregan escaso valor a las mercancías, son realizadas por los nuevos sistemas ciber-físicos.

Al ser un fenómeno en el que intervienen diferentes aspectos, demanda de la formulación de agendas que establezcan las políticas y programas públicos orientados a impulsar la Industria 4.0 en un país o una región, que consideren no solo los aspectos tecnológicos (MTC, 2016). Se requiere el establecimiento de apoyos a la formación de recursos humanos capacitados, la infraestructura, la legislación, así como de las normas para la estandarización y la seguridad y el impulso a la investigación y la generación de innovaciones, para incentivar en un primer momento la digitalización de la producción y posteriormente la incorporación en las cadenas globales de valor.

En este sentido, el objetivo del presente trabajo es establecer los elementos mínimos que deben observarse para formular una agenda de impulso a la Industria 4.0 en México, a partir de un acercamiento multidisciplinario que considere los aspectos tecnológicos, económicos y sociales y su articulación para facilitar la generación de políticas y programas de apoyo a la industria, a través del dialogo entre la academia, la industria, el gobierno y la sociedad.

II. DE LA INCORPORACIÓN DE LAS TIC A LA PRODUCCIÓN Y A LA INDUSTRIA 4.0

El uso de las TIC por parte del sector productivo se puede establecer desde mediados del siglo pasado, con algunos esfuerzos puntuales de aplicación en campos específicos; pero es en la década de los 80 que se empiezan a utilizar de manera cotidiana en las actividades de las empresas (Molina, Rotondo y Yoguel, 2013), incrementando su participación dentro de los procesos de producción. De manera paralela, se han modificado sus aplicaciones, reuniendo nuevas funcionalidades que aumentan sus ámbitos de aplicación, donde se integran con las tecnologías existentes para generar técnicas novedosas, como resultado de la combinación de nuevos factores productivos (Yoo, 2010), modificando las estructuras industriales hacia una mayor integración y horizontalidad de todos

9. Hector.indd 194 12/17/19 16:42

los eslabones de la cadena productiva y estableciendo nuevos canales de venta y distribución.

La creciente participación de las TIC en las actividades de las firmas, se han convertido en un elemento central para transformar la producción, distribución y venta, derivado de su transversalidad a todos los sectores económicos, donde los productos se ofrecen de manera local y a distancia a través de un mercado global que aumenta la competencia (Tacsir, 2011). Por lo que las empresas se encuentran en constante incorporación de herramientas tecnológicas que le permitan un mejor acceso al mercado, un aumento de la competitividad, así como la participación en las cadenas globales de valor que aunado al surgimiento de nuevas soluciones, ha dado lugar a la digitalización de los procesos internos y externos, formando un nuevo arreglo tecno-económico llamado industria 4.0 (Gilchrist, 2016).

El nombre de Industria 4.0 tiene su origen en las grandes transformaciones productivas por las que ha pasado la humanidad, basadas en la incorporación de maquinarias complejas, para hacer más eficiente la producción. Se considera que la primera revolución fue resultado de la incorporación de las máquinas de vapor, la segunda se refiere a la electrificación de la producción y la tercera el surgimiento del internet (Lasi, Fettke, Kemper, Feld y Hoffmann, 2014; Salkin, Oner, Ustundag y Cevikcan, 2018). Este no es el único acercamiento al fenómeno, por parte de la academia. Se presentan otras aproximaciones entre las que se encuentran los estudios sobre la digitalización de la producción (Yoo, 2010; Isaksson y Wennberg, 2016) o internet industrial (Evans y Annunziata, 2012). En todos los casos el origen se encuentra en la intensificación de la adopción de las TIC como insumo básico dentro de los procesos de producción, pero desde diferentes marcos de referencia.

Aún cuando el término Industria 4.0 hace referencia a la manufactura, en realidad se alude al conjunto de actividades que hacen uso de tecnologías digitales y que controlan la producción, por medio de la interrelación entre los procesos, las máquinas y las personas (Castillo, 2017). A diferencia de los arreglos anteriores, no se considera a la empresa como un ente aislado, sino como parte de un sistema en comunicación permanente con otras, interconectado al interior (requerimientos, maquinaria, procesos de producción, administración) y al exterior (proveedores, distribución, requerimientos del mercado, ventas, entre otros), con nuevos protocolos de interacción basados en la generación, la transmisión, almacenamiento y análisis de datos para la toma de decisiones en tiempo real y de manera automatizada. Entonces, la Industria 4.0 se refiere a una serie de arreglos intra e inter-empresas que modifican los modos de producción, a partir de la articulación de diferentes tecnologías que trabajan de manera conjunta y coordinada a través del intercambio de información.

9. Hector.indd 195 12/17/19 16:42

LAS TECNOLOGÍAS ASOCIADAS A LA INDUSTRIA 4.0

Aunque el concepto de industria 4.0 es relativamente sencillo, los elementos que la componen no lo son. Para su funcionamiento se requieren de una serie de tecnologías que se articulan y trabajan de manera conjunta para modificar los procesos productivos a partir de la automatización y digitalización de la producción. Esta complejidad se refleja en la dificultad de las empresas para incorporarse a la nueva revolución industrial.

Sumarse a los nuevos modelos productivos basados en la digitalización, requiere incorporar soluciones basadas en TIC a las tecnologías presentes, para desarrollar productos basados en la generación, distribución, análisis de la información para la toma de decisiones. Por lo que, el primer paso en comprender cuales de estas son la involucradas y como se articulan entre sí.

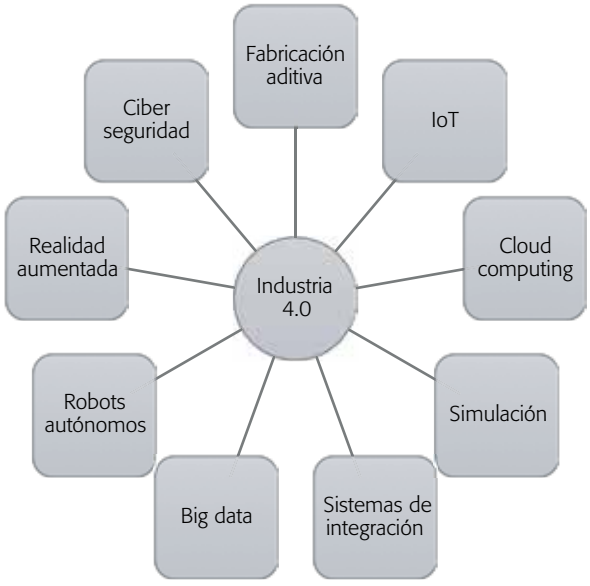
Aun cuando no hay un consenso que establezca cuántas y cuáles tecnologías intervienen en este nuevo modelo productivo, de manera general, se considera la lista generada por *Boston Consulting Group*, como un parámetro aceptable para identificar la base de la industria 4.0 (figura 1), las que se validan por su aparición de manera continua en los estudios académicos sobre la cuestión (BCG, SF; Gillrich, 2016; Moravito, 2014; Miorandi, Sicari, De Pellegrini y Chlamtac 2012; Evans y Annunziata, 2012).

- El Internet de las cosas (IoT), es la red que resulta de la interconexión de objetos inteligentes con identidad propia (por medio de las TIC) que, en conjunto con las aplicaciones de software permite generar un sistema en red altamente dinámico y radicalmente distribuido, compuesto de un gran número de objetos productores y consumidores de información.
- El *cloud computing*, es un modelo de servicio de computo bajo demanda que permite a las empresas el intercambio de información entre las maquinas conectadas a través del IoT, así como su análisis en tiempo real a un bajo costo, a través de internet, impulsando el uso más eficiente de los recursos y el acceso a procesos más complejos para la toma de decisiones.
- Simulación, hace uso de los datos generados en tiempo real en las operaciones, para crear modelos virtuales que reflejen el mundo físico, con el fin de probar y optimizar nuevas configuraciones para hacer más eficientes los procesos actuales o establecer nuevas líneas de producción y distribución, reduciendo los tiempos de prueba y mejorando la calidad.
- Los sistemas de integración horizontal y vertical son los elementos que vinculan a las diferentes empresas, departamentos y áreas articulando y sumando sus capacidades, para impulsar una mejora en la producción, distribución y consumo, a través de la generación de cadenas de valor totalmente automatizadas

9. Hector.indd 196 12/17/19 16:42

- El *Big Data* o la analítica de grandes cúmulos de datos, son técnicas de análisis que surgen como resultado del rápido crecimiento en el volumen y la diversidad de los datos generados, transmitidos y almacenados, para identificar los patrones que se encuentran ocultos bajo una gran cantidad de información desestructurada proveniente de fuentes heterogéneas, con el fin de mejorar los procesos y la toma de decisiones.
- Robots autónomos, son aquellos que se encuentran conectados entre sí, que comparten información para generan nuevas articulaciones para la producción con otras máquinas y con los humanos para la toma de decisiones de manera autónoma y en tiempo real.
- La fabricación aditiva, está asociada a la impresión 3D, permite la creación de diseños y pruebas de concepto a un bajo costo, en diferentes materiales, así como la generación productos personalizados que ofrecen más valor a los usuarios finales, a la vez que reducen los costos derivados de los desperdicios y de los tiempos de fabricación.
- La realidad aumentada impulsa una serie de servicios asociados a la producción tales como la selección de piezas y el envío de instrucciones para la operación y reparación. Permite la vinculación del mundo real con los datos generados en tiempo real para pruebas y procedimientos.

Figura 1
Tecnologías asociadas a la Industria 4.0



Fuente: elaboración propia con base en BCG, SF

9. Hector.indd 197 12/17/19 16:42

- La ciberseguridad se refiere no solamente a aquella que se encuentra en un entorno técnico donde interactúan las computadoras, las máquinas y los objetos conectados, es una parte integral de la estrategia de las empresas a través de la gestión de riesgos, donde intervienen máquinas y trabajadores de manera conjunta.

La interacción entre estas tecnologías es la base de la industria 4.0 como un nuevo proceso basado en la digitalización de la producción, que se asocia con los modelos de venta y distribución a través de diferentes canales, dando lugar a nuevos productos y mercados, que dependen de un entorno digital abierto e interconectado (OECD, 2016). De este acercamiento se destaca que este no es un esfuerzo que corresponde a una sola empresa o a un sector, sino que como las revoluciones anteriores, requiere de la participación de todos los actores y de la modificación de las estructuras productivas existentes, así como del surgimiento de nuevos acuerdos económico-sociales.

LAS TENDENCIAS EMERGENTES EN LA PRODUCCIÓN, LA DISTRIBUCIÓN Y EL CONSUMO

El desarrollo de la industria 4.0 es parte de las macrotendencias globales que están cambiando al conjunto de la sociedad y la economía (Castillo, 2017), donde en mayor o menor medida intervienen las TIC y los procesos de digitalización, por lo que, es fundamental considerar la forma en que se inserta dentro esta realidad que, establece nuevos retos para las empresas, las regiones y los países, para generar estrategias que impulsen en su establecimiento y promuevan el desarrollo.

Dentro de las grandes tendencias globales que condicionan y dirigen el mercado y la producción, se destaca un conjunto de ellas que en mayor o menor medida incidirán en los escenarios futuros y darán forma a las nuevas condiciones tecno-económicas, donde a nivel general se identifican ocho grandes corrientes (López-Gómez, et. al, 2017)

- La globalización de las cadenas de producción a través del offshoring y outsourcing, donde las grandes corporaciones globales definen y diseñan los elementos centrales de los productos y controlan íntegramente los procesos de fabricación.
- El aumento de la clase media a nivel internacional y un mayor acceso a los mercados, en particular de los países en desarrollo, así como el estancamiento de la población en países desarrollados y procesos de envejecimiento global de la población.

9. Hector.indd 198 12/17/19 16:42

- La inclusión de una perspectiva de sostenibilidad dentro de los procesos de producción y distribución a través del uso de energías renovables, consumo responsable, reciclaje, disminución de la huella de carbono, entre otros.
- Los procesos de creciente urbanización y migración del ámbito rural al urbano en países en desarrollo y desarrollados, que requieren de nuevas soluciones de movilidad, vivienda, infraestructura y acceso a bienes y servicios.
- El aumento de los impactos de los desastres naturales asociados a una mayor población y a los cambios climáticos, así como de amenazas de movimientos sociales armados.
- La aceleración de los ciclos de vida de la producción, el aumento de las tasas de innovación, el mayor uso de las tecnologías de la información y comunicación y surgimiento de nuevos procesos de fabricación (industria 4.0).
- La modificación de los hábitos de consumo hacia una mayor individualización de los productos y servicios (producción masiva personalizada) y una adopción acelerada de la tecnología.
- El surgimiento de nuevas políticas nacionales y regionales de apoyo al crecimiento económico basados en I+D+i, en particular, en nuevas tecnologías.

Estas tendencias globales han modificado el mercado y lo continuaran haciendo en el corto y mediano plazo y transformaran los modelos de producción tradicionales basados en la producción masiva intensiva en mano de obra, hacia nuevas estructuras flexibles y coordinadas globalmente para la gestión de las interacciones entre los sistemas productivos basados en plataformas digitales, donde sectores económicos que anteriormente se encontraban separados, ahora están estrechamente relacionados ofreciendo productos y servicios ciber físicos integrados (López-Gómez, et. al, 2017; Castillo, 2017).

Además de estos cambios, en el ámbito tecnológico se han desarrollado una serie de tecnologías productivas que incorporan e impulsan la digitalización de la producción y que son trasversales a diferentes sectores económicos (fotónica, biotecnología, nanotecnología, materiales avanzados, fabricación aditiva, microtecnología, TIC en sistemas de fabricación, tecnologías ambientales), por lo que se deben considerar ambos aspectos (socioeconómicos y tecnológicos) en cualquier política o programa para impulsar la industria 4.0

En este entorno, la digitalización es un proceso transversal a la economía y la interacción social, transformándose en un canal y un determinante de la comunicación y los intercambios. Por lo que su desarrollo es un asunto multidimensional que requiere de un acercamiento interdisciplinario, donde participen la academia, el gobierno, la industria y la sociedad, para responder a los obstáculos que surgen de la aplicación de las TIC en las actividades socioeconómicas. Para ello, es

9. Hector.indd 199 12/17/19 16:42

necesario considerar en donde nos encontramos en materia de economía digital, estableciendo los desafíos que se derivan de las tecnologías emergentes y su aplicación en los diferentes ámbitos, para no rezagarse aún más en los procesos de digitalización económica.

III. CONDICIONES Y AGENDAS PARA EL DESARROLLO DE LA INDUSTRIA 4.0 EN EL MUNDO

A nivel internacional, se presenta una creciente competencia en las manufacturas, debido al surgimiento de nuevas herramientas y modelos de producción derivados de la incorporación de las TIC en los diferentes aspectos de las cadenas de valor, generando un reacomodo de los flujos de mercancías y de los intercambios entre regiones y países.

Destaca la recomposición de las cadenas de valor, como resultado de los crecientes intercambios de información en tiempo real. Además, se presenta un cambio en las condiciones competitivas, donde la abundancia de mano de obra y los bajos salarios dejan de ser relevantes en un entorno donde las actividades repetitivas son realizadas por maquinas automatizadas. Por último, se observa una creciente competencia derivada de la aceleración de los ciclos de producción, un mayor acceso a los mercados globales y locales, y productos cada vez más centrados en la innovación en TIC (OECD, 2017).

En este entorno, los países desarrollados se han situado a la cabeza en el desarrollo de estrategias para impulsar procesos de reindustrialización basados en la digitalización de la producción, aplicando el I+D+i con que cuentan, para insertarse dentro de la corriente de la industria 4.0. En esta dinámica internacional, se destacan algunos centros productivos internacionales; Norteamérica (Estados Unidos, Canadá y México), Europa (Alemania, Gran Bretaña) y Sureste de Asia (China, Japón, Corea del Sur, Taiwán, Singapur), que se establecen como las tres fábricas mundiales (Castillo, 2017).

De manera particular, se ha identificado a un conjunto de países que lideran el desarrollo de la industria 4.0, que desde diferentes perspectivas aspiran a liderar esta revolución económica. Para lo que han creado una serie de programa y políticas orientadas al desarrollo de la digitalización de acuerdo con las condiciones en que se encuentran y la perspectiva sobre el futuro de la manufactura, las cuales se presentan en el siguiente cuadro.

9. Hector.indd 200 12/17/19 16:42

Cuadro 1
Condiciones de la industria 4.0 en países seleccionados

	Condiciones de la industria 4.0	*Políticas e iniciativas de apoyo a la industria 4.0*	*Acciones a futuro para impulsar la industria 4.0*
Alemania	Su orientación es hacia la optimización de los procesos de producción en términos de calidad, precio y flexibilidad. El objetivo estratégico es fortalecer la fabricación y la ingeniería mecánica durante la digitalización. El desarrollo de nuevos modelos de negocio y productos inteligentes se encuentra en segundo plano. Asume un papel central en el desarrollo de la industria 4.0 a través de las grandes corporaciones y de las Pymes.	Programas impulsados por el sector público. • Plataforma Industrial 4.0 (manufactura) Programas impulsados por la industria. • BDEW (sector energético) • BDI (manufactura, intersectorial) • Bitkom (TIC) • VDA (automotriz) • VDMA (maquinaria e ingeniería) • ZVEI (ingeniería eléctrica y eléctronica)	Impulso a la generación de estándares, normas y arquitecturas internacionales para impulsar la Inter operatividad. Fomentar el desarrollo de nuevos modelos de negocio basados en la digitalización Impulsar la formulación de estrategias comerciales que respondan a las oportunidades derivadas de la digitalización
China	El panorama manufacturero es extremadamente heterogéneo. Por un lado, hay un grupo de corporaciones globales que cuentan con fábricas avanzadas y en algunos casos altamente automatizadas. Por otro lado, hay una gran mayoría de Pymes en las que la digitalización es escasa.	Programas impulsados por el sector público. • Centro de IoT de Shanghai (TIC) • Internet Plus (TIC) • Made in China 2025 (Manufactura) Programas impulsados por la industria. • Iniciativa Smart Factory 1.0 (manufactura)	Disminuir las disparidades en la manufactura para hacerla más competitiva Generación de estándares de fabricación Implementación de estándares medioambientales Mejorar la calidad de la manufactura
Japón	La industria 4.0 se encuentra muy desarrollada. Se ha impulsado la digitalización a través del desarrollo de nuevos modelos de negocio a través del internet. De manera fundamental se impulsa la generación de estándares para la digitalización.	Programas conjuntos público-privados. • Iniciativa de la cadena de valor industrial (IVI) (estandarización) • IoT Acceleration Consortium (IOTAC) (IOT, big data e inteligencia artificial) • Robot Revolution Initiative (RRI) (Robótica industrial y aplicada) Programas impulsados por la industria. • Iniciativa e-F@ctory (automatización) • Industria 4.1J (datos en la nube)	Desarrollar soluciones de TI especializadas para generar cadenas y redes de valor Impulso al uso de los robots en la manufactura Desarrollo de tecnologías web centradas en nuevos modelos de negocios Herramientas de TI para el análisis de datos para la manufactura integración de la robótica con los factores humanos y la ergonomía

Continúa...

9. Hector.indd 201 12/17/19 16:42

	Condiciones de la industria 4.0	*Políticas e iniciativas de apoyo a la industria 4.0*	*Acciones a futuro para impulsar la industria 4.0*
Corea del Sur	La industria se caracteriza por conglomerados estructurados jerárquicamente (chaebols) en los sectores de alta tecnología y de ingeniería mecánica y una gran cantidad de Pymes que dependen de estos. Las empresas promueven soluciones de estandarización para generar interoperabilidad entre ellas Se presenta un fuerte impulso al establecimiento de fábricas inteligentes y a los nuevos modelos de negocios basados en datos.	Programas impulsados por el sector público. • Iniciativa Smart City "Testbed" (ciudades inteligentes) Programas conjuntos público-privados. • Centros de innovación y Economía creativa (Innovación TIC, industria 4.0) • Korean Smart Factory Foundation (automatización) • Smart Factory Initiative (automatización)	Incrementar la digitalización de las Pymes con independencia de los "chaebols" Exploración de nuevos modelos de negocios basados en datos Desarrollo de productos y servicios inteligentes basados en datos Creación de redes internacionales de manufactura y acceso a mercados Impulso a la seguridad de TI, en protección de datos y cifrado de sistemas
Estados Unidos	Se considera a la industria 4.0 no solo como dimensión tecnológica, sino también como el desarrollo de los nuevos modelos de negocio derivados. La industria 4.0 se impulsa por consorcios formados por grandes empresas del sector privado para desarrollar un ecosistema para conectar objetos físicos con personas, procesos y datos. Con el fin de garantizar la interoperabilidad a través de arquitecturas de referencia, marcos y estándares abiertos	Programas impulsados por el sector público. • National Network for Manufacturing Innovation (NNMI) (manufactura) Programas impulsados por la industria. • Industrial Internet Consortium (CII) (estandarización, nuevos modelos de negocio) • Smart Manufacturing Leadership Coalition (SMLC) (Investigación en plataforma abierta) • AllSeen Alliance (electrónica de consumo) • Open Connectivity Foundation (OCF) (comunicación entre diferentes sistemas)	Desarrollo de nuevos modelos de negocio basados en datos, Internet, software y servicios Establecimiento de nuevas plataformas de TI para la industria 4.0 basadas en IoT industrial Generación de estándares abiertos para la Inter operatividad entre empresas
Reino Unido	Desde el gobierno se promueve la reindustrialización para reequilibrar la economía. Se desarrollan planes sectoriales para impulsar a la industria a través de los centros de innovación que proporcionan un entorno dedicado donde las empresas y los investigadores pueden trabajar juntos para desarrollar soluciones comerciales innovadoras basadas en la digitalización.	Programas impulsados por el sector público. • Catapult centres (innovación, industria 4.0) • High Value Manufacturing (digitalización de la manufactura centrado en aspectos físicos) • Satellite aplications (digitalización de la manufactura) • Manufacturing Technology Centre (MTC) (manufactura) • Advanced Manufacturing Research Centre (AMRC) (Manufactura de Alto Valor)	Desarrollo de servicios inteligentes Impulso a la construcción e infraestructura inteligentes Automatización de los diferentes aspectos de la vida cotidiana y los nevos modelos de negocio asociados Fortalecer la participación de los programas públicos y privados para la innovación

Fuente: elaboración propia con base en Kagermann, et al., 2016.

9. Hector.indd 202 12/17/19 16:42

A partir de la información presentada, se desprende que las condiciones en que se encuentra la industria 4.0 a nivel internacional son muy heterogéneas, aun cuando se limita solo al análisis de los países líderes. En primer lugar, se muestra que algunos de ellos presentan una tendencia a la digitalización de la manufactura y a la fabricación de los equipos necesarios (Alemania, Japón). En otros casos, los esfuerzos se dirigen a los nuevos modelos de negocio a través de internet (EE. UU., Reino Unido) y en los restantes no hay una orientación clara hacia la especialización.

Las diferencias en el acercamiento hacia la industria 4.0 se reflejan también en el liderazgo de las iniciativas de apoyo, las cuales provienen en algunos casos solo del sector público (Reino Unido, China), pasando por acuerdos público-privados (Japón, Corea del Sur) y otros, por el sector privado (Alemania, EE. UU.). En esta materia se muestra que los apoyos no son homogéneos, ya que responden a las características propias, así como a los elementos que cada país considera más relevantes para liderar la digitalización de la manufactura.

De manera general, del análisis de las condiciones y las políticas y programas de apoyo a la industria 4.0 en los países más avanzados en la materia, se desprende que el desarrollo de esta revolución industrial es desigual, derivado de la complejidad propia de la tecnología asociada, así como de las condiciones cambiantes del entorno. Bajo estas condiciones, cada región orienta sus esfuerzos hacia aquellos elementos que considera más relevantes para liderar en el mediano y largo plazo la manufactura digital.

Por otro lado, se establecen algunos elementos que son constantes en todos los casos. En primer lugar, se identifican esfuerzos por formular estándares internacionales para la Inter operatividad entre industrias, así como la generación de productos modulares e interfaces abiertas. En segundo lugar, se impulsa el desarrollo de nuevos modelos de negocio y estructuras de logística asociadas a la digitalización. En tercer lugar, se establece como elemento central el desarrollo de plataformas de software específicas para la industria. Por último, se busca potenciar los centros de innovación con la participación público-privada, para mejorar la competitividad en un entorno de bienes y servicios conectados.

IV. LA FORMULACIÓN DE UNA AGENDA PARA LA INDUSTRIA 4.0 EN MÉXICO

Para la formulación de una estrategia nacional de impulso a la industria 4.0 en México, es necesario establecer las condiciones básicas en que se encuentran los sectores económicos, así como del contexto de equipamiento e infraestructura asociada a las TIC. En particular en aquella ligada a la producción, para plantear

9. Hector.indd 203 12/17/19 16:42

los elementos centrales que faciliten el escalamiento industrial y el surgimiento de cadenas de valor vinculadas con los mercados internacionales.

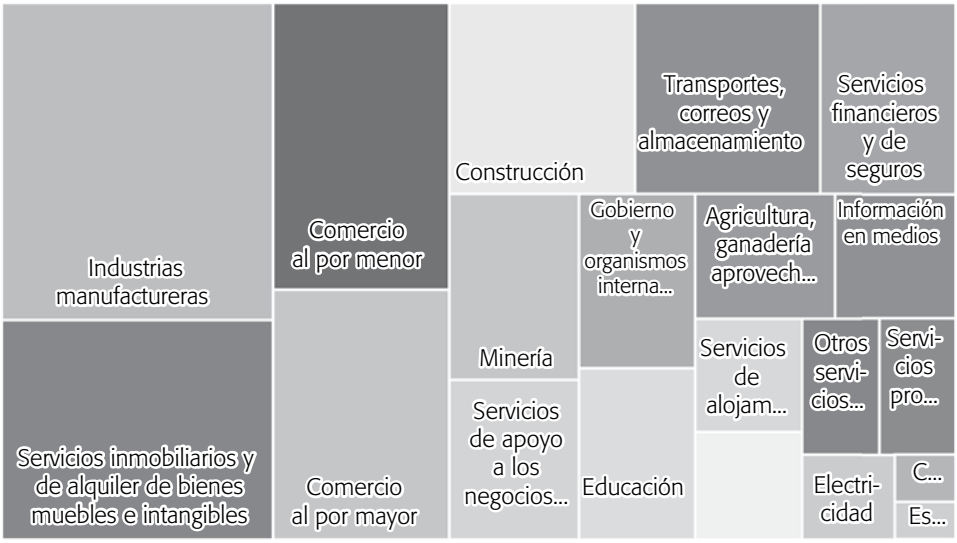
En este sentido, a continuación, se presentan las condiciones básicas en que se encuentra el país en relación con el equipamiento y acceso a las TIC, así como a la manufactura y su participación en las cadenas globales de valor

CONDICIONES DE LA INDUSTRIA MANUFACTURERA EN MÉXICO

De acuerdo con los datos reportados por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), en el 2019, la estructura económica de México se encuentra fuertemente orientada hacia actividades secundarias (30% del PIB) y terciarias (66.6% del PIB). Dentro de estas, el sector que de manera individual, presenta un mayor aporte a la economía es la industria manufacturera, que por sí misma contribuye con casi el 17% del PIB nacional, seguido por los servicios inmobiliarios y el comercio, tal como se observa en la siguiente figura.

La industria manufacturera es fundamental para la economía nacional, no sólo por su aporte económico, también por la cantidad de empleo que genera, así como los encadenamientos productivos hacia delante (bienes intermedios) y hacia atrás (proveedores) que se establecen con otros sectores, tales como los servicios especializados, el transporte, la construcción y el comercio al por mayor.

Figura 2
Composición del PIB nacional, segundo trimestre 2019



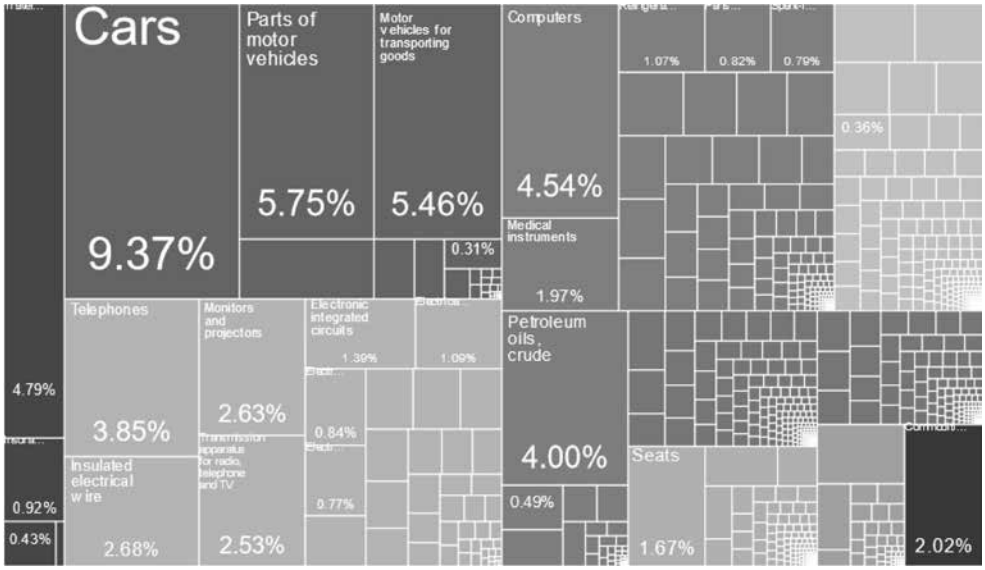
Fuente: elaboración propia con base en INEGI, sistema de Cuentas Nacionales, 2019.

9. Hector.indd 204 12/17/19 16:42

Otro elemento que muestra la relevancia de las manufacturas para México es a través de su aportación en las exportaciones nacionales, más aun, cuando se considera que el país ocupa el décimo quinto lugar en el mundo en relevancia, por el monto de productos intercambiados con otros países (Atlas of Economic Complexity, 2018). En la figura siguiente se muestran los principales bienes comerciados con el exterior, donde resaltan tres grandes grupos. El primero de ellos compuesto por los vehículos automotores, entre los que se incluyen no solo aquellos dirigidos al trasporte de personas, sino también de bienes, así como la construcción de aeronaves y sus partes y equipo ferroviario.

En segundo lugar, se encuentran los bienes electrónicos, que comprenden, fundamentalmente, equipos de consumo y sus partes. El tercer lugar, aparecen la maquinaria y equipo, en particular, las computadoras y el equipo médico, así como electrodomésticos y equipos industriales y sus partes.

Figura 3
Exportaciones de México en 2017



Fuente: Atlas of Economic Complexity, 2019.

De las gráficas anteriores, se desprende que la manufactura es una actividad fundamental para la economía mexicana, ya que representa alrededor de tres cuartas partes del total de las exportaciones de bienes, por lo que resulta primordial impulsar la migración hacia los modelos productivos emergentes basados en

9. Hector.indd 205 12/17/19 16:42

la digitalización y en los productos conectados, para incorporarse en las nuevas cadenas globales de valor y mejorar su competitividad de cara al surgimiento de nuevos competidores globales como la India.

CONDICIONES NACIONALES PARA IMPULSAR EL DESARROLLO DE UNA AGENDA DIGITAL EN MÉXICO

Para la formulación de cualquier propuesta de política pública o agenda para el impulso a la industria 4.0, el punto de partida se encuentra en las condiciones en que se encuentra el país en materia de digitalización, por lo que a continuación se establecen las condiciones básicas de las TIC en el sector productivo, considerando en particular las facilidades para transitar hacia una economía digital.

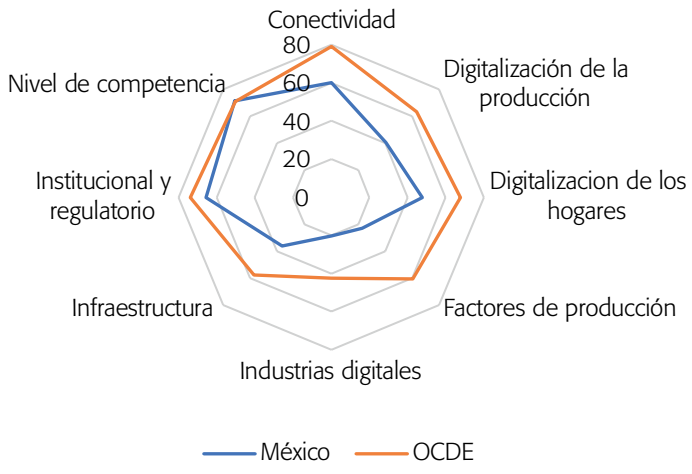
Más allá de los datos relacionados con las TIC y su uso por parte de los diferentes actores, como resultado de la relevancia de su incorporación como parte de los procesos de producción, algunos organismos internacionales han desarrollado una serie de indicadores para establecer las condiciones que guarda el entorno para el desarrollo de la digitalización de las actividades sociales y económicas a nivel internacional (CAF, 2017; WEF, 2016). A partir de estos, es posible establecer en qué medida intervienen los factores económicos, sociales, tecnológicos, educativos y políticos en la incorporación de los países en los nuevos modelos productivos.

Aún con las limitaciones propias de una evaluación estandarizada, estos esfuerzos, permiten contar con un panorama general de las condiciones que guarda la economía digital en el país y determinar cómo se encuentra en relación con el entorno internacional. En primer lugar, se encuentra la realizada por el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF), a través del Observatorio del Ecosistema Digital para América Latina y el Caribe, donde se establecen ocho indicadores que son formados por conjuntos de datos ponderados (CAF, 2017) , para generar un diagnóstico de las condiciones nacionales, (figura 4).

A partir del análisis de los indicadores, se muestra el Índice de Desarrollo del Ecosistema Digital (IDED), desarrollado por el CAF (en una escala del 0 al 100%), donde para el 2015, se muestra el nivel que presentan una serie de variables y su comparación con el promedio de los países de la OCDE. Es fundamental considerar que de acuerdo con esta evaluación, las principales deficiencias en el caso mexicano se encuentran en aquellos elementos asociados directamente a las actividades productivas; es decir, los factores de producción, las industrias digitales y la digitalización de la producción. Además, de la figura se desprende que los factores más desarrollados son aquellos relacionados con la regulación y competencia, donde se acerca a lo mostrado por los países de la OCDE. Esto muestra un avance desigual en los elementos asociados a la digitalización.

9. Hector.indd 206 12/17/19 16:42

Figura 4
Índice de Desarrollo del Ecosistema Digital 2015



Fuente: Elaboración propia con base en CAF, 2017.

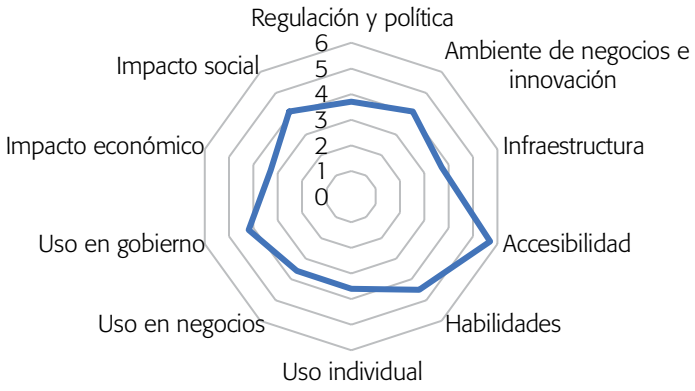
Por su parte, el Foro Económico Mundial (WEF, por sus siglas en inglés), ha desarrollado un índice de desarrollo de las TIC, donde se clasifican a 139 economías nacionales a partir de diez indicadores (en una escala del 0 al 7), que al igual que en el anterior caso, considera no solo los elementos directamente asociados a las tecnologías, ya que incluye elementos económicos, políticos y sociales (Baller, 2016).

Para el caso mexicano, que se muestra en la siguiente figura, se desprende que el indicador con un menor desempeño es el impacto económico que genera el uso de las TIC, que es un indicio de una deficiente integración en las actividades productivas (Katz, 2015), por lo que la inversión en esta tecnología se refleja de manera parcial en el crecimiento económico. Los siguientes indicadores en escala ascendente son aquellos que se refieren a los usos de la red, por parte de los usuarios y de las empresas, que refuerza la idea de una incorporación a actividades de mayor valor agregado.

En el lado opuesto se encuentra la accesibilidad al internet, que se relaciona con el costo de las tarifas de acceso fijo y móvil y al nivel de competencia en el mercado de TIC. Como resultado de estos indicadores, México se ubica en la posición 76 de 139, por debajo de países de Latinoamérica tales como Brasil (71), Chile (38) o Colombia (68) y muy alejado de su principal socio comercial Estados Unidos (5).

9. Hector.indd 207 12/17/19 16:42

Figura 5
Índice de preparación de la red



Fuente: Elaboración propias con base en Baller, 2016.

Como resultado del análisis de la información sobre las condiciones de las TIC para la producción, resultado de las evaluaciones internacionales, se desprenden algunos elementos que resaltan las áreas de atención para impulsar el desarrollo de la digitalización. Se observa que se han logrado avances en materia institucional y de regulación, fomentando la competencia y el acceso a la tecnología por parte de las personas, empresas y el sector público, llegando a niveles cercanos a los que se presentan en países desarrollados.

En el otro extremo se encuentra la digitalización de la producción y la incorporación de las herramientas tecnológicas en las actividades productivas, limitando el impacto de la inversión en TIC en la economía, debido a la escasa de integración en los procesos productivos, por lo que es necesario avanzar en este sentido para lograr un crecimiento económico que se refleje en mejores condiciones de vida de la población.

V. ELEMENTOS PARA UNA AGENDA PARA LA INDUSTRIA 4.0 EN MÉXICO

Como se anotó en la revisión de los programas para impulsar la industria 4.0 en los países con mayor desarrollo de la manufactura, no hay una estrategia común entre ellos. Cada uno presenta diferentes acercamientos en relación con las fortalezas y debilidades detectadas, así como de la prospectiva futura sobre la tecnología y el mercado. En este sentido, en todos se establece la necesidad de abordarlo desde una visión integral con la cooperación de actores nacionales e internacionales para su articulación y la inter-operatividad de los sistemas de manera horizontal y vertical (Kagermann, et al., 2016).

9. Hector.indd 208 12/17/19 16:42

A diferencia de los casos revisados, en el país no se cuenta con políticas orientadas específicamente a la reindustrialización digital (Casalet, 2018), ya que estos se encuentran insertos dentro de programas de más amplio espectro, tales como el Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación (PECiTI), o las iniciativas de estímulo a la innovación, implementadas por el Conacyt. Los primeros acercamientos, se orientaron al diagnóstico de las potencialidades en el área de manufactura avanzada, dando como resultado la formulación de dos documentos base. El primero el Mapa de ruta de diseño, ingeniería y Manufactura Avanzada, realizado por ProMéxico en el 2011 y el Diseño y desarrollo de productos y procesos de alto valor agregado realizado por el Foro Consultivo Científico y Tecnológico (FCCT) en 2013 (Dutrenit, 2015).

Por lo tanto, los esfuerzos nacionales en el tema han sido escasos, por lo que se requiere de establecer las bases a partir de las características productivas y socioeconómicas, para generar programas que fortalezcan las ventajas competitivas y reduzcan las limitaciones de las empresas para incorporarse a las cadenas globales de valor basadas en la digitalización.

En este trabajo, más que establecer una agenda, lo que se propone es establecer los elementos centrales que debe de considerar una agenda de impulso a la industria 4.0 en México, a través de la participación conjunta de la academia, la industria, el gobierno y la sociedad, las cuales se presentan agrupadas en cinco grandes categorías que no incluyen cuestiones tecnológicas, económicas y sociales (figura 6).

Figura 6
Elementos prioritarios para una agenda de impulso a la industria 4.0 en México

Fuente: elaboración propia.

9. Hector.indd 209 12/17/19 16:42

Un elemento común en las diferentes agendas internacionales es la importancia de la formulación de estándares internacionales que definan los formatos de comunicación e intercambio de información, generando semánticas, vocabularios taxonomía e interfases comunes para la interoperabilidad (Kagermann, et al. 2016, Schuh, et. al., 2017). Debido a las diferentes estructuras industriales la formulación de normas establecerá una base común para los lineamientos básicos del futuro de la industria 4.0, por lo que cualquier esfuerzo nacional debe de considerar la participación de México en las discusiones internacionales sobre el tema.

En segundo lugar, la ciberseguridad es un componente central dentro de los procesos de digitalización, ya que su base se encuentra en el uso de sistemas y manejo de datos (OECD, 2016), por lo que se convierte en un problema estratégico que cuando se administra de forma eficiente, proporciona ventajas competitivas en el mercado. Más allá de la visión técnica, es parte integral de las empresas, entendiendo que en un entorno hiperconectado no es posible eliminar por completo las amenazas; pero si es posible establecer estrategias para la disminución del riesgo a través del involucramiento de las diferentes áreas de la organización y del seguimiento y vigilancia constante de las medidas de seguridad.

Por lo tanto, las políticas de apoyo a la industria 4.0 y a la digitalización deben estar en sintonía con un marco regulatorio y de políticas públicas que incentive y promueva la generación de estrategias de ciberseguridad como un elemento central para las empresas, a la par que se deben establecer los lineamientos de protección de los consumidores y proveedores en un entorno donde los productos se venden, distribuyen y funcionan a través de la conexión permanente a internet.

La incorporación de las tecnologías digitales en los procesos de producción, distribución y consumo, impulsan a las empresas a generar nuevos modelos de negocios para participar en el mercado global (Consellería de Economía, Empregoe Industria, 2015; Presidential Committee on the fourth industrial revolution, 2017), por lo que se requiere de apoyos, orientados a la asesoría, difusión y asesoramiento de inteligencia de mercado tanto a nivel individual, como de cadenas de valor, asociaciones y agrupaciones, para identificar las oportunidades y nichos estratégicos, estableciendo estrategias de posicionamiento y consolidación a nivel nacional e internacional.

En el entorno actual, las TIC forman parte fundamental de una sociedad del conocimiento, donde el crecimiento económico se deriva del surgimiento de innovaciones, creadas a partir de procesos complejos, no lineales ni predecibles, que comprende las capacidades de aprendizaje y articulación para adquirir, generar o combinar el conocimiento, que derive en la generación de nuevos produc-

9. Hector.indd 210 12/17/19 16:42

tos o mejoras en los existentes (OECD-Cepal, 2012). Para lo cual se requiere, por un lado, del desarrollo de las capacidades de los trabajadores en el manejo de las tecnologías digitales para el uso de las nuevas herramientas basadas en TIC; y por el otro, de políticas de I+D+i, que promuevan el desarrollo de innovaciones para aumentar la competitividad e insertarse en la economía internacional.

Por último, en las estrategias internacionales abordadas, se hace hincapié en que la revolución industrial se refiere no solo a la manufactura, sino que representa un nuevo acuerdo tecno-económico que modifica las relaciones económicas y sociales (Kagermann, et. al. 2016), es por eso que, algunos países establecen dentro de sus prioridades la formulación de un marco regulatorio que incentive y promueva el uso responsable de la información que se genera, distribuye y almacena.

En este punto, también se consideran las cuestiones éticas de la generación y uso de la información que se deriva de la interacción entre los objetos conectados y las personas, así como de la incorporación de la tecnología en los diferentes aspectos de la vida, ya que esta debe dirigirse a mejorar las condiciones de la población (Presidential Committee on the fourth industrial revolution, 2017), a través del establecimiento de un entorno sustentable, con mayores niveles de salud, seguridad, movilidad, esparcimiento y bienestar.

VI. CONCLUSIONES

La cuarta revolución industrial, es una oportunidad para que México se inserte de manera definitiva en las cadenas globales de producción a través de la fabricación de productos con alto valor agregado. Esto requiere de esfuerzos coordinados donde la industria, la academia, la sociedad y el gobierno juegan un papel preponderante para impulsar el desarrollo de la industria digitalizada nacional.

Los esfuerzos deben partir, de reconocer que la industria 4.0 no se refiere solamente a la manufactura, sino que es un proceso global que implica la modificación de las articulaciones productivas, así como la generación de nuevos mercados y modelos de negocios basados en bienes y servicios conectados al internet, con productos globales adaptados a las preferencias locales.

Para la coordinación de esfuerzos, se propone la formulación de una agenda de la industria 4.0 que establezca los lineamientos básicos sobre los que se desarrollarán las políticas y programas de apoyo a la digitalización de la producción. Se consideran seis grandes rubros que agrupan desde cuestiones técnicas a elementos legales y éticos y a la formación de capacidades, por lo que se requiere de la participación de expertos, para que desde un enfoque multidisciplinario se generen planes de acción a corto, mediano y largo plazo.

9. Hector.indd 211 12/17/19 16:42

El riesgo de la inacción para impulsar a la industria 4.0 es que el país pierda competitividad y en un caso grave, pueda quedar marginado de los circuitos de producción global, con la consiguiente pérdida de crecimiento que se refleje en menores condiciones de vida de la población, por lo que es una gran oportunidad, pero a la vez es un riesgo, si no se establecen esfuerzos coordinados para impulsar la digitalización de la industria nacional y su inserción en las cadenas globales de producción, de ahí la importancia de establecer una agenda de apoyo a la digitalización de la manufactura.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Baller, S. (2016). The Global Information Technology Report, Ginebra, World Economic Forum.

Banco de Desarrollo de América Latina (CAF) (2017). Observatorio del Ecosistema Digital de América Latina y el Caribe 2017, recuperado de: https://www.caf.com/app_tic/#es/ided

Bayo-Moriones, A. y Lera-López, F. (2007), A firm-level analysis of determinants of ICT adoption in Spain. Technovation, 27, 352-366.

Boston Consulting Group (SF). Embracing Industry 4.0 and Rediscovering Growth, recuperado de: https://www.bcg.com/en-mx/capabilities/operations/embracing-industry-4.0-rediscovering-growth.aspx

Casalet, M. (2018). "La digitalización industria. Un camino hacia la gobernanza colaborativa, Estudios de casos", Documentos de Proyectos (LC/TS.2018/95), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Castillo, M. (2017): El estado de la manufactura avanzada. Competencia entre las plataformas de la Internet industrial, Cepal, Santiago de Chile.

Comisión Económica para América Latina (Cepal) (2013). Economía digital para el cambio estructural y la igualdad, Cepal, Santiago de Chile.

Comisión Económica para América Latina (Cepal) (2016). La nueva revolución digital, Cepal, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Dutrenit, G. (2015). Políticas de innovación para fortalecer las capacidades en manufactura avanzada en México, CIEPLAN, Santiago de Chile.

Evans, P. y Annunziata, M. (2012). Industrial Internet: Pushing the boundaries of mind and the machines, recuperado de: https://www.ge.com/docs/chapters/Industrial_Internet.pdf

Gilchrist, A. (2016). Industry 4.0: The Industrial Internet of Things, Apress, Bangken, Thailand.

Harvard (2018). Atlas of Economic Complexity. What did export Mexico in 2017?, recuperado de http://atlas.cid.harvard.edu/explore?country=138&product=un

9. Hector.indd 212 12/17/19 16:42

defined&year=2017&productClass=HS&target=Product&partner=undefined&nodeSizing=None&startYear=undefined

INEGI (2019). Sistema de Cuentas Nacionales de México, recuperado de https://www.inegi.org.mx/temas/pib/default.html#Tabulados

Kagermann, H., Anderl, R., Gausemeier, J., Schuh, G., Wahlster, W. (2016). Industrie 4.0 in a Global Context: Strategies for Cooperating with International Partners (Acatech STUDY), Munich, Herbert Utz Verlag.

Katz, R. (2015). El ecosistema y la economía digital en América Latina, Barcelona, Fundación Telefónica-Editorial Ariel.

Lasi H, Fettke, P., Kemper, H., Feld, T. y Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. WIRTSCHAFTSINFORMATIK, 239-242.

López-Gómez, C., Leal-Ayala, D., Palladino, M and O'Sullivan, E. (2017). Emerging Trends in Global Advanced Manufacturing: Challenges, Oportunities and Policy Responses. Cambridge, United Nations Industrial Development Organisation

Manufacturing Technology Centre (mtc) (2016), *From Industry 4.0 to Digitising Manufacturing. And End User Perspective. Conference Report*. Coventry, Inglaterra: MTC.

Miorandi, D., Sicari, S., De Pellegrini, F. y Chlamtac, I. (2012). "Internet of things: Vision, applications and research challenges", *Ad Hoc Networks*, V. 10 (7), pp. 1497-1516.

Molina, M., Rotondo, S. y Yoguel, G. (2013). El impacto de las TIC en la productividad del trabajo: algunos indicios para las PyME del sector manufacturero argentino. En Marta Novick y Sebastián Rotondo (comps.), El desafío de las TIC en Argentina. Crear capacidades para la generación de empleo. Crear capacidades para la generación de empleo (pp. 107-136). Santiago, Chile, Cepal.

Morabito, V. (2014). Trends and Challenges in Digital Business innovation, Springer, London.

OECD-Cepal (2012). Perspectivas económicas de América Latina 2013. Políticas de Pymes para el cambio estructural, Santiago, Chile, Cepal.OECD (2016). *Managing Digital Security and Privacy Risk. 2016 ministerial meeting on the Digital Economy*, OECD, Brussels.

OECD (2017). The next production revolution. Implications for governments and business, Paris.

Prause, G. and Atari, S. (2016). On sustainable production networks for Industry 4.0, The International Journal, ENTREPRENEURSHIP AND SUSTAINABILITY ISSUES, Vol 4 N. 4 http://doi.org/10.9770/jesi.2017.4.4(2)

Presidential Committee on the Fourth Industrial Revolution Committee (2017). "Plan for the Fourth Industrial Revolution" to Promote Innovative Growth, I-Korea 4.0. Seoul, Korea.

9. Hector.indd 213 12/17/19 16:42

Rivas, Diego y Giovanni Stumpo (2013), "Las TIC en el tejido productivo de América Latina", en Marta Novick y Sebastián Rotondo (Comp.), El desafío de las TIC en Argentina. Crear capacidades para la generación de empleo. Crear capacidades para la generación de empleo, CEPAL, Santiago, Chile.

Salkin, C., Oner, M., Ustundag, A. y Cevikcan, E. (2018). Understanding Industry 4.0. En A. Ustundag y E. Cevickan (eds.), Industry 4.0: Managing the Digital Transformation (pp. 3-24). Switzerland, Springer

Schuh, G., Anderl, R., Gausemeier J., ten Hompel, M., Wahlster, W. (2017). Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies (Acatech STUDY), Munich, Herbert Utz Verlag.

Tacsir, E. (2011). Innovación en los servicios. El difícil caso de América Latina y el Caribe, BID, Santo Domingo.

Yoo, Y. (2010). Digitalization and Innovation [En línea] Tokio: Hitotsubashi University, 2010, recuperado de http://iir.hit-u.ac.jp/iir-w3/file/WP10-09yoo.pdf

9. Hector.indd 214 12/17/19 16:42

5G: cambio de paradigma

Jorge Fernando Negrete P.*

SUMARIO

I. Introducción II. Una sociedad con nuevos derechos: el Estado Digital III. 5G: una evolución tecnológica IV. 5G, un nuevo estándar tecnológico V. Un nuevo ecosistema digital 5G, nueva infraestructura VI. Nuevos retos, nuevos negocios VII. Nuevos retos jurídicos y regulatorios VIII. Oportunidades. IX. Bibliografía

> "No hay dudas sobre la importancia de 5G. Es la revisión de red más importante en la historia porque la alquimia de la tecnología digital permite la transformación de lo que siempre se hizo en *hardware* para convertirse en funciones realizadas en *software*. Luego, con una red tan virtualizada, el poder de la lengua franca del Protocolo de Internet (IP) se hace cargo para eliminar la necesidad de protocolos tecnológicos específicos para funciones específicas."
> Tom Wheeler, ex presidente de la Comisión Federal de Comunicaciones de 2013 a 2017.

I. INTRODUCCIÓN

Nada es permanente a excepción del cambio y el cambio es inevitable. En este mundo sabemos lo que somos, pero con frecuencia ignoramos lo que podemos lograr. Y si ese cambio depende de una tecnología desconocida en sus alcances, con un poder de transformación insólito en la historia de la civilización, entonces debemos enfrentar el cambio con responsabilidad. La tecnología 5G está llamada a ser la privilegiada transformadora de cadenas de valor y política pública de

* Presidente de Digital Policy & Law Group.

10. Jorge.indd 215 12/17/19 16:42

nuestra sociedad; con ello, la masificadora de tecnologías como Internet de las cosas, análisis de los grandes datos, Inteligencia Artificial, *blockchain*, Realidad Virtual, Aumentada y nuevos modelos de negocios como los operadores Fintech. Todo lo que pueda ser digital será transformado por esta tecnología. Pero, ¿en qué consiste?

Esta tecnología permitirá que cosas y objetos, todo y todos estén conectados, se incrementará la capacidad de transporte y velocidad de datos, millones de objetos estarán conectados, todo interactuará sistémicamente, habrá nuevos usos para la la Internet, interacción en tiempo real a los servicios de la nube, y baja latencia, lo que permitirá la interacción de la red y el dispositivo conectado al recibir una respuesta en un tiempo muy bajo, vital para vehículos autónomos, fábricas, industria, el campo. El bajo consumo de energía permitirá que los objetos conectados funcionen durante meses o años sin la necesidad de la intervención humana; los teléfonos inteligentes reproducirán multiplataformas 4K y 8K (más de 4 y 8 veces alta definición).

Estamos apenas aproximándonos a la punta del iceberg. Es una tecnología que tiene la virtud de construir eficiencias disruptivas y evidenciar ineficiencias catastróficas en casi todas las cadenas de valor y de la política pública: nos volverá más eficientes. Un estudio de Ericsson indica que las 10 industrias de mayor impacto por esta tecnología serán: sector automotriz, transporte público, medios y entretenimiento, agricultura, manufactura, energía, seguridad pública, salud, servicios financieros y ventas al detalle.

Pero en el mundo de la política pública también veremos un cambio. Todas las políticas públicas deberán apoyarse en estas tecnologías para generar servicios más cercanos, eficientes y útiles para los ciudadanos. El mundo de las ciudades conectadas (*smart cities*) será una realidad con el control inteligente del tráfico, seguridad pública, servicios públicos, recaudación predial, previsión del clima, política ambiental, mantenimiento urbano, control de los residuos y políticas de transparencia a tiempo real, incluidos sistemas de Inteligencia Artificial para diseñar política pública en tiempo real y medirla con el análisis de los grandes datos.

El mundo en ocasiones odia el cambio y, sin embargo, es la única cosa que trae el progreso. Nuestra vida no mejora por casualidad, mejora por el cambio y 5G va a demostrar que no todo cambio es crecimiento, al igual que no todo movimiento es hacia delante, porque 5G se va a mover para todos lados, omnidireccionalmente, y va a demostrar que el cambio no sólo es probable, es inevitable.

En negocios y política pública algunos proyectos nacen de manera póstuma y no debe ser nuestro caso. Las redes serán un activo estratégico que multiplica servicios y gestiona tráfico en una carretera de millones de canales nuevos: una red inteligente. Atestiguamos el ocaso del derecho de las telecomunicaciones y del derecho informático: se fusionarán e integran la propiedad intelectual y la

10. Jorge.indd 216 12/17/19 16:42

protección de datos. *Nace el derecho y la regulación digital, vinculados con ciencia y tecnología*. Hablar de política TIC, informatización, e-gobierno o política de computo será una anécdota sobre el *momentum* de hoy. Hablemos de "política digital", integrada por el conjunto de recursos y acciones que ofrecen servicios públicos y gestionan procesos administrativos y financieros: *end to end*. Desde esa perspectiva, nace la política digital para la cultura, para la educación, para la salud, para la ciberseguridad, para la economía, para las ciudades. ¿La política de cobertura es parte de la política digital? Sí. Si sólo busca conectar, es de cobertura; si busca abatir brechas, es política de inclusión digital universal.

5G traerá nuevos retos en todas las áreas, pero será crítico en lo jurídico por el almacenamiento en la nube, la operación de la red y representará nuevos riesgos a la confidencialidad, integridad y disponibilidad de los datos de los usuarios. La protección de datos, ciberseguridad, propiedad intelectual, protección al consumidor y figuras legales nuevas como contratos inteligentes, serán algunos de los nuevos retos de la autoridad.

5G se está desarrollando en ambientes de negocio reales y va a necesitar 10 veces más fibra óptica y radiobases para ofrecer servicios a los ya conectados, pero los desconectados van a necesitar más inversión. Es urgente modernizar los marcos regulatorios para fomentar la inversión e innovación en un entorno competitivo convergente y desplegar más infraestructura, particularmente en los municipios, provincias, departamentos o estados. La tecnología 5G no va a ocasionar marginación digital, sino la falta de política pública para conectar, generar habilidades y ofrecer nuevos servicios en áreas rurales.

Todo cambio necesita saber adónde vamos y falta la hoja de ruta 5G, el *roadmap* de infraestructura y futuros usos. No existe mayor fuerza transformadora de la sociedad que las telecomunicaciones y la Internet, esas son las herramientas más poderosas de los gobiernos y esperamos el esfuerzo histórico de las mejores agendas digitales en la historia.

El mundo que hemos creado es un proceso de pensamiento y 5G necesita una nueva gestión de nuestra inteligencia para transformar la sociedad y generar valor, primero con la regulación y simultáneamente con la política pública.

II. UNA SOCIEDAD CON NUEVOS DERECHOS: EL ESTADO DIGITAL

¿Qué relación existe entre la política pública digital y el Estado? ¿Son la la Internet y los servicios de telecomunicaciones un derecho fundamental? ¿Estos derechos fundamentales son garantizados por la nueva política pública? ¿Estamos diseñando la agenda de política pública que necesitan los ciudadanos?

El Estado y los poderes públicos son creados por los hombres para poder convivir y son, esencialmente, una entidad jurídica. El Estado no sólo es la cor-

10. Jorge.indd 217 12/17/19 16:42

poración territorial dotada de un poder de mando originario (Heller, Herman), ni el ámbito espacial de validez de las normas jurídicas (Jellinek). El Estado es un complejo vital, creado y estructurado por el orden jurídico, territorio, derechos fundamentales, órganos de gobierno y acción pública. En su concepto estático, el Estado se estructura en la Constitución; en su concepto dinámico es la base de la acción pública, de sus órganos y sus funciones, regula la vida social. Es aquí donde hablamos de derechos fundamentales en un caso; gobierno y política pública, en otro.

Derechos fundamentales. Son aquellos que se constituyen a partir de su vocación y reconocimiento universal, particularmente en el orden jurídico internacional, los establecidos en la Declaración Universal de los Derechos Humanos de 1948, y en las demás convenciones internacionales sobre los derechos humanos.

Los derechos fundamentales son derechos de las personas, de los individuos y generalmente están considerados como un catálogo determinado en las constituciones y por las cartas internacionales. Estos derechos no son negociables y, por lo tanto, no pueden estar en el mercado, no son mercancía. "Están igualmente garantizados para todos y sustraídos a la disponibilidad del mercado y la política" (Ferrajoli). Sin duda, una característica fundamental es que estos derechos deben ser garantizados y permitir su ejercicio. Garantizar supone diseñar y estructurar acciones públicas encaminadas a verificar su cumplimiento y la elaboración de políticas que aseguren el máximo grado de ejercicio de los derechos fundamentales.

En América Latina, la evolución de los derechos fundamentales ha sido extraordinaria. La riqueza de conceptos integrada a las diversas cartas constitucionales y tratados internacionales ha generado una relevante cantidad de derechos y particularidades; así como conceptos globales y expresiones regionales. Algunos de ellos son educación, libertad de expresión, salud, acceso a la cultura, acceso a la información pública, protección de datos y el catálogo crece o se restringe, dependiendo de cada país. Las constituciones de Guatemala (1985), Brasil (1988), Colombia (1991), Perú (1993), Argentina (1994), entre otras en América Latina, contemplan el reconocimiento de estos derechos y, con ellos, sus características esenciales.

Hablamos de derechos que son universales, interdependientes, indivisibles y programáticos. Esto quiere decir que estos derechos no son superiores uno sobre otros, interactúan directamente entre ellos, no son divisibles y su cumplimiento se proyecta y verifica en el tiempo.

El derecho de acceso a la la Internet, servicios de telecomunicaciones, banda ancha y TIC, como un derecho fundamental. Las Naciones Unidas, por medio de su Consejo de Derechos Humanos, adoptó la resolución A/HRC/20/L.13 del 29 de junio de 2012 sobre la promoción, protección y disfrute de los derechos humanos en Internet. Este documento es vital para comprender

10. Jorge.indd 218 12/17/19 16:42

el alcance universal del acceso a la la Internet y las Tecnologías de la Información y fue suscrito por un grupo relevante de países de Iberoamérica y del continente americano: Argentina, Bolivia, Brasil, Canadá, Chile, Costa Rica, España, Estados Unidos de América, Guatemala, Honduras, México, Perú, Portugal y Uruguay.

La visibilidad que se da a la la Internet, en términos del lenguaje de derechos humanos, y el ejercicio de otros derechos fundamentales por medio de esta tecnología, ofrece una nueva dimensión de trabajo jurídico en términos de modificaciones constitucionales y diseño de nueva política pública, para garantizar el nuevo derecho de acceso y uso del Internet para todas las personas. El documento afirma, entre otras cosas, que:

- "Afirma que los derechos de las personas también deben estar protegidos en Internet, en particular la libertad de expresión.
- "Reconoce la naturaleza mundial y abierta de Internet como fuerza impulsora de la aceleración de los progresos hacia el desarrollo.
- "Exhorta a los Estados a que promuevan y faciliten el acceso a la Internet.
- "Internet puede ser un importante instrumento para el ejercicio de los derechos humanos."

Adicionalmente, se exhorta a los Estados para que promuevan y faciliten el acceso a la Internet y la cooperación internacional encaminada al desarrollo de los medios de comunicación y los servicios de información y comunicación en todos los países. La Internet y las Tecnologías de la Información han estado asociadas de forma relevante a las discusiones sobre libertad de expresión, sin duda, por la indisoluble relación entre libertad de expresión y democracia.

De hecho, el derecho a difundir ideas y buscar información (acceso a información pública) son dos acciones relevantes en el ejercicio de los derechos políticos en una democracia. Sin embargo, el derecho de acceso a la la Internet, al ser reconocido como fundamental, adquiere la misma naturaleza de sus derechos pares y se vuelve, como lo señalé, universal, indivisible, interdependiente y programático, transformándose en un poderoso habilitador de otros derechos fundamentales como el derecho a la educación, la salud, la cultura, la libertad de expresión y el derecho a la información en todas sus formas, entre otros derechos más.

Sostengo que el derecho de acceso a la Internet es un derecho humano que posee toda persona para conectarse a la Internet por medio de las Tecnologías de la Información, con el fin de ejercer y disfrutar de sus derechos fundamentales, de forma que el Estado tiene la responsabilidad de garantizar que el acceso a este servicio y las tecnologías esté disponible. *Contrario sensu*, el Estado no puede restringir el acceso de una persona a la Internet ni a las Tecnologías de la Informa-

10. Jorge.indd 219 12/17/19 16:42

ción y la Comunicación. La restricción del derecho de acceso a la la Internet, es una restricción *ipso iure* al ejercicio de todos los derechos fundamentales y, por lo tanto, en contra del ejercicio de los derechos humanos. Ninguna acción de las distintas autoridades puede estar fuera de este mandato expreso, ni puede estar sujeto a interpretación.

Política digital. Garantizar este derecho fundamental convoca a la acción pública del Estado y del gobierno para diseñar nueva política pública. A la acción de diseñar procesos, establecer objetivos o determinar una visión estratégica para garantizar el acceso a este derecho fundamental, la Sociedad de la Información, las TIC y los servicios de telecomunicaciones, y habilitar otros derechos fundamentales, sostengo que se le debe llamar "Política Digital".

Ahora bien, el derecho de acceso a la Internet, al ser un habilitador de otros derechos fundamentales, genera una condición imperativa y de mandato administrativo: toda política pública y acción regulatoria que lo garantice, deben operar de forma transversal en las administraciones públicas, vertical en la esfera federal, local y municipal; y colaborativa e incluyente con otros órganos del Estado. Esta acción puede ser actuando de forma positiva con acciones concretas o no actuando. El silencio es una decisión de política pública, pero también regulatoria; y ésta es compartida con diversos órganos del Estado. El diseño es competencia de diversos órganos de las administraciones públicas del Estado como los órganos regulatorios, pero también los ministerios de comunicación o programas especiales.

Durante muchos años hablamos de una primera generación de política digital, bajo la forma de agendas digitales orientadas al despliegue de infraestructura y promover habilidades digitales. Países como Brasil, Chile, Argentina, España y Colombia, entre otros, van en la tercera generación de agendas digitales y han incorporado nuevos servicios y nuevas tecnologías. Estas agendas digitales han evolucionado en función de las innovaciones tecnológicas y de la expansión a nuevos servicios e impacto en la vida de los ciudadanos. Por ello, debemos contemplar su carácter sectorial, especial y en todos los niveles de gobierno.

- **Sectorial**. Agendas digitales por sector. Hay que hablar de economía digital, pero también de política digital para la educación, política digital para la salud, política digital para la inclusión financiera, en materia electoral, de seguridad, entre otras.
- **En todos los niveles de gobierno**. El mandato constitucional es claro. Gobierno federal, local y municipal deben diseñar política digital en la forma de agendas digitales. Buscar que los servicios que prestan se encuentren en línea y coordinarse verticalmente con el gobierno federal para facilitar el despliegue

10. Jorge.indd 220 12/17/19 16:42

de infraestructura, transformarse digitalmente y garantizar el ejercicio pleno de los nuevos derechos digitales en provincias, estados o departamentos.

- **Especiales**. Nuevas tecnologías, nuevos derechos, nuevas oportunidades, nueva política pública y regulación: ciudades inteligentes, Internet de las cosas, 5G, Big Data, Realidad Aumentada, Inteligencia Artificial, *fintech*, *blokchain* y SmartContracts, son algunas de las nuevas asignaturas en la prospección de políticas digital. Hay que diseñar política pública para cada una de estas áreas. Afirmo que no hay nueva tecnología, sin impacto legal, regulatorio o sin política digital.

El Estado, en su forma contemporánea, es una entidad jurídica distinta a la época de Maquiavelo; es una entidad global con una nueva generación de derechos fundamentales y paradigmas tecnológicos que impactan en la economía, el orden jurídico y en la forma de operar su aspecto dinámico. La forma del Estado (en su forma federal o central) necesita de un nuevo acuerdo y compromiso local para desplegar conectividad y generar una verdadera transformación digital regional.

En su aspecto dinámico, los órganos de las administraciones públicas deben trabajar bajo un nuevo acuerdo de coordinación transversal que garantice un impecable ejercicio de derechos fundamentales. El Estado no podrá ser considerado en esta época como un concepto jurídico estático, sino como un poderoso habilitador de derechos y promotor indiscutible de desarrollo, a partir de una novedosa institución que nace: el Estado Digital.

III. 5G: UNA EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA

Las generaciones tecnológicas son estándares de operación de tecnologías móviles. 5G es la quinta generación de tecnologías móviles y presenta un paso más en la evolución de estos estándares tecnológicos. Cada generación liberó una norma tecnológica, pero también servicios, oportunidades, incluso, externalidades puntuales.

- 1G. En la década de los ochenta: Ericsson lanza el sistema NMT 450 (Nordic Mobile Telephony 450 MHz), el primer sistema de telefonía móvil en la historia.
- 2G. En la década de 1990 nace la segunda generación se tecnologías móviles. El eje de su desarrollo es la digitalización de las comunicaciones, ofreciendo una mejor calidad de voz y seguridad. Un servicio de comunicación adicional fue el SMS (por las siglas del inglés Short Message Service), que es un servicio que permite el envío de mensajes cortos entre teléfonos móviles.

10. Jorge.indd 221 12/17/19 16:42

- 3G. En la década de 2000 nace esta tecnología. Incrementa la capacidad de transmisión de datos para ofrecer servicios como conexión a la Internet desde el móvil, la videoconferencia, la televisión y la descarga de archivos. Esta tecnología permite el intercambio de correos electrónicos y se transforma en una herramienta que dinamiza la economía personal y de la sociedad. Surge el concepto de oficina móvil.
- 4G. En 2010 surge esta tecnología. Es la evolución tecnológica que ofrece al usuario de telefonía móvil un mayor ancho de banda, alto consumo de datos, la recepción de televisión en Alta Definición (HD) y la navegación eficiente por Internet. El estándar usado en esta tecnología se llama LTE (Long Term Evolution). Esta generación tecnológica habilitó el surgimiento de la economía móvil y la masificación de servicios a usuarios directos, particularmente plataformas globales como Uber, RBB, Amazon, Facebook, entre otras.
- 5G o red móvil de quinta generación. Esta generación tecnológica conectará personas, cosas, datos, aplicaciones y generará el acceso a sistemas de servicios públicos en ciudades, transporte y el despliegue de redes de comunicaciones inteligentes. Transportará grandes volúmenes de datos más rápido y conectará de forma estable, inteligente y segura enormes cantidades de dispositivos, procesando volúmenes muy grandes de datos con una latencia mínima, es decir, con mínimo retraso.

Se prevé que las tecnologías 5G eliminen la diferencia entre elementos fijos, móviles, TIC, contenidos y den soporte a aplicaciones, un Internet del todo. Generará el surgimiento de conceptos como edificio conectado, aula conectada, fabrica conectada, aeropuerto conectado, hogar conectado y ciudades inteligentes. Adicionalmente, será un agente para el desarrollo de vídeo 3D, teletrabajo, juegos en la nube, servicios médicos a distancia, Realidad Virtual y Aumentada y comunicaciones masivas de máquina a máquina para la automatización de industrias y negocios.

IV. 5G, UN NUEVO ESTÁNDAR TECNOLÓGICO

El estándar 5G integra la nueva generación de normas móviles que está definiendo la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). Los sistemas, componentes y elementos conexos que soportan capacidades mejoradas superiores a las ofrecidas por los sistemas IMT-2000 (3G) e IMT-Avanzadas (4G), se denominan IMT-2020 (5G).

Las normas relativas a las telecomunicaciones móviles internacionales de 2020 (IMT-2020), sientan las bases para una serie de trabajos de investigación en 5G comprendidos en todo el mundo, definen el marco y los objetivos genera-

10. Jorge.indd 222 12/17/19 16:42

les del proceso de normalización de la 5G, y establecen la hoja de ruta por la que se regirá este proceso hasta su terminación en 2020. En conclusión, la IMT-2020 es un conjunto de estándares que deben cumplir las redes móviles de la nueva generación 5G.

Entre las características de esta norma, se destacan varios elementos 1. Velocidades de conexión más altas entre 10 y 20 Gbps y experiencias entre 100 Mbps y 1 Gbps. 2. La capacidad de conectar millones de dispositivos en una misma área de cobertura (Internet de las cosas). 3. Latencia o retardo de comunicación extremadamente baja o casi inexistentes (de entre 1 y 4 ms). 5. Estabilidad absoluta de la conexión. 6. Los procesadores de los equipos tendrán un nivel de estabilidad y eficiencia energética tan grande, que la energía de estos equipos será superior a cualquiera en la historia, pudiendo durar años la pila de los equipos. 7. Distribuirá y masificará en la red la tecnología de la Inteligencia Artificial. 8. Un nuevo sistema de infraestructura que integra recursos físicos, móviles y contenidos. 9. Una tecnología que evoluciona diversas partes de la histórica tecnología de *hardware*, para sustituirlas por *software*. 10. Esta tecnología destruye las fronteras históricas entre Tecnologías de la Información y la Comunicación, las telecomunicaciones y los contenidos audiovisuales. 11. La banda ancha móvil mejorada marcará el comienzo de nuevas experiencias inmersivas, como VR y AR, con velocidades de datos más rápidas y uniformes, menor latencia y costo por bit. 12. 5G habilitará comunicaciones de misión crítica que pueden transformar industrias con enlaces de baja latencia ultra confiables/disponibles, tales como control remoto de infraestructura crítica, industria, campo, vehículos y procedimientos médicos

Hambre de espectro radioeléctrico: 5G será la tecnología que más use espectro. Sólo las licitaciones que realiza la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC, por sus siglas en inglés) de EUA, representarán más del espectro licitado en toda la historia de ese país. GSMA ha recomendado en diversos documentos "espectro móvil ampliamente armonizado para asegurar que los servicios 5G satisfagan las expectativas futuras y ofrezcan toda la gama de potencial capacidad. 5G necesita espectro dentro de tres rangos de frecuencias clave para ofrecer cobertura generalizada y apoyar todos los casos de uso"

Bandas bajas: 1 GHz. Servirá de soporte para lograr una amplia cobertura en áreas urbanas, suburbanas y rurales y ayudará a apoyar los servicios de Internet de cosas (IoT)

Bandas medias: 1-6 GHz (incluye *refarming*). Ofrece una buena mezcla de cobertura y capacidad. Incluye la Banda C, la cual es probable que sea la banda inicial de muchos servicios 5G. En bandas abajo de 6 GHz, se sugiere liberar 1,960 MHz de espectro, según el Informe UIT-R M.2290

10. Jorge.indd 223 12/17/19 16:42

Bandas altas: 6 GHz (incluye bandas milimétricas). Admite velocidades de banda ancha ultra-altas previstas para 5G. Focalizado por encima de 24 GHz incluye 26 GHz y/o 28 GHz.

Desde el enfoque de la política pública, 5G representa una oportunidad para que los responsables de la formulación de políticas diseñen nueva política pública y permitan que los ciudadanos descubran los beneficios de una economía digital avanzada que utiliza un enorme volumen de datos. 5G, dice GSMA, "trae consigo la promesa de mejorar la experiencia de los usuarios finales, ofreciéndoles nuevas aplicaciones y servicios capaces de alcanzar velocidades de varios gigabits, así como de incrementar significativamente la calidad de funcionamiento y la fiabilidad"

V. UN NUEVO ECOSISTEMA DIGITAL 5G, NUEVA INFRAESTRUCTURA

El valor de la economía telecom de Europa (740 millones de ciudadanos) es de 364 mil millones de euros, casi el valor de la economía de telecomunicaciones de Estados Unidos (327 millones de ciudadanos), con un valor de 377 mil millones de euros. Se estima que sólo la inversión para desplegar 5G con la infraestructura proporcionada por Huawei a Europa, ha sido de 66 mil millones de dólares, e importa 40 por ciento de la que se necesita para dotar de esta tecnología a Europa, es decir, una sexta parte del valor de la economía de telecomunicaciones del viejo continente y apenas empieza la inversión en nueva infrestructura.

El concepto de redes que conocíamos, cambia. Las palabras "telecomunicaciones", "informática" o "TIC" están en transición. No hay redes de telecomunicaciones sin su gestión en centros de datos, cómputo al borde: Edge Computing, donde se administran servicios, *software*, infraestructura y plataformas. Habrá cientos de centros de datos (Edge Computing), más funciones, recursos y oportunidades para manejar Internet de las cosas, Big Data e Inteligencia Artificial.

Como lo mencioné en la introducción, las redes serán un activo estratégico que multiplicará servicios y gestionará tráfico en una carretera de millones de canales nuevos: una red inteligente. Faltan radiobases y cientos de miles de kilómetros de fibra óptica: capilaridad digital. Nacerá el mundo Wi-Fi 6 y su complementariedad con 5G. Para efectos de la regulación, al concepto de acceso a insumos básicos como espectro, infraestructura y competencia debe integrarse el relativo a aquellos servicios de infraestructura no tradicional en las redes como Data Centers, Wi-Fi6, Business Solution Sistems (BSS) y servicios TIC incorporados en la nube, cuando ésta es parte de un sistema de servicio de telecomunicaciones. El análisis sobre esta infraestructura no considera el valor del espectro, ya que por sí solo, es un tema para un estudio independiente.

10. Jorge.indd 224 12/17/19 16:42

La arquitectura de la nueva infraestructura nos presenta una nueva generación de elementos. Aquí una pequeña revisión de ellos:

- **Redes ultra-densas/*small cells***. En virtud de la limitada cantidad de espectro sub-3GHz disponible, las actuales redes no podrán soportar los servicios que se operarán bajo 5G. Las altas frecuencias no cuentan con capacidades de propagación necesarias para el pleno desempeño de 5G. ¿El resultado? Una marcada densificación de *small cells*, una enorme cantidad de antenas cercanas al consumidor.
- **Fibra a gran escala**. La topología de las redes 5G considera una mayor densidad en estaciones radio base, lo que prevé un mayor uso de fibra óptica para las conexiones de todas las *small cells*. Por ejemplo, una red 4G que tiene una *cell* para 26 km2, con 5G se estiman 60 *small cells* para 2.5 km2. La inversión para conectar una constelación 5G de *small cells* necesita cuando menos 10 veces más fibra óptica. Ésta genera capacidad, estabilidad, seguridad y eficiencia.
- **RAN en *cloud***. Es una arquitectura en la que se determina una separación funcional entre recursos remotos y compartidos. Estos últimos se virtualizan y se implementan como funciones de red virtual (NFV) en un servidor o en la nube. Esta opción, además de presentar ventajas en cuanto a ahorro de costes y energía, también puede soportar economías de red radicalmente nuevas y una amplia gama de servicios, actuando como un precursor de la segmentación de red 5G.
- Las redes 5G dependerán de tecnologías emergentes como SDN (Software Defined Networking), NFV (Network Function Virtualization), MEC (Mobile Edge Computing) y FC (Fog Computing).
- Satisfacer las demandas de calidad de servicio y experiencia de sus usuarios, obligará a los operadores a desplegar nuevos tipos de infraestructura y tecnologías *carrier grade* (en telecomunicaciones, un "*carrier grade*" o "*carrier class*" se refiere a un sistema o un componente de *hardware* o *software* extremadamente fiable y testado. Los sistemas *carrier grade* son probados y diseñados para cumplir o exceder los estándares de alta calidad de "cinco nueves", y proporcionan una recuperación de fallos muy rápida (normalmente menos de 50 milisegundos), así como sistemas de antenas MIMO (con la capacidad de emitir en múltiples direcciones en el mismo momento), sistemas distribuidos (DAS), *small cells* y cabezas de radio remotas (RRH), entre otros.
- La mayor parte de la carga del tráfico seguirá estando en manos de las macroceldas, por lo que antes de desplegar la infraestructura de nuevas tecnologías, los operadores deberán tener una clara estrategia para mejorar sus redes de transporte actuales, que son las que sostienen las redes macro. Para este co-

10. Jorge.indd 225 12/17/19 16:42

metido deberán migrar a un ambiente SDN y NFV como medida para reducir las complejidades y costes de sus redes de transporte.

- La virtualización de funciones de red, en combinación con la creación de redes definidas por *software* (SDN), tendrá una influencia enorme en la creación de redes 5G que permitirán un mayor dinamismo en la gestión de los servicios. El resultado será una ampliación en los esquemas y modelos de negocio presente y futuros (Sentando las bases para 5G: Oportunidades y desafíos).
- **Wi-Fi 6**. Se espera que el volumen de tráfico de datos móviles crezca hasta cuatro veces en los próximos cuatro años. El Wi-Fi 6 es un estándar que proporciona una conexión de red confiable y consistente para una experiencia perfecta. Capacidad: transmite más datos a más clientes que los estándares de Wi-Fi anteriores, incluido IoT. Ancho de banda: alcanza velocidades hasta cuatro veces más rápidas para impulsar más aplicaciones. Características mejoradas: mejora la eficiencia de la batería en teléfonos inteligentes, tabletas y dispositivos IoT. La mejor cobertura de Wi-Fi y la compatibilidad con 2.4 GHz hacen que Wi-Fi 6 sea ideal para dispositivos IoT (https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/enterprise-networks/802-11ax-solution/index.html).
- **Edge Computing**. "Con Edge, los sistemas de cómputo y almacenamiento también residen en el borde, lo más cerca posible del componente, dispositivo, aplicación o humano que produce los datos que se procesan. El propósito es eliminar la latencia de procesamiento, ya que los datos no deben enviarse desde el borde de la red a un sistema de procesamiento central y luego volver al borde. Las aplicaciones para Edge tienen sentido: los dispositivos conectados a la Internet de las cosas son un uso claro para la arquitectura de Edge Computing. Con sensores remotos instalados en una máquina, componente o dispositivo, generan grandes cantidades de datos. Si esos datos se envían de vuelta a través de un enlace de red largo para ser analizados, registrados y rastreados, eso lleva mucho más tiempo que si los datos se procesan en el borde, cerca de la fuente de los datos"
  (https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/enterprise-networks/edge-computing.html).

VI. NUEVOS RETOS, NUEVOS NEGOCIOS

La industria móvil aporta 5 por ciento del PIB, según GSMA, y junto a las TIC, tienen la enorme capacidad de transformar las cadenas de valor de los negocios y las políticas públicas como nunca se había visto. Juntas, denuncian ineficiencias y procesos obsoletos que vuelven inaccesibles o generan gastos innecesarios al ciudadano o al consumidor.

10. Jorge.indd 226 12/17/19 16:42

La capacidad transformadora de cada generación tecnológica ha sido inestimable, y cada una de ellas ha aportado externalidades impensables. 3G generó la oficina móvil y 4G el surgimiento de la economía digital global. Se espera que 5G genere transformaciones disruptivas y externalidades que afecte las cadenas productivas de decenas de verticales de negocios. La modificación positiva de las cadenas de valor es innovación y genera eficiencia, bienestar y competitividad. 5G tiene la capacidad de generar todo eso y transformación digital, así como poderosas habilidades a quién incorpore esta tecnología.

Ericsson, proyecta para fines de 2024 que las suscripciones 5G alcanzarán mil 900 millones, esto representará más de 20 por ciento de todas las suscripciones móviles en ese momento. El 35 por ciento del tráfico será transportado por redes 5G y hasta 65 por ciento de la población mundial podría estar cubierta por la tecnología. Esto la convierte en la generación más rápida que se implementará a escala mundial.

GSMA anuncia que los más recientes estudios proyectan un negocio en 2024 de 64 mil 700 millones de euros, de los cuales 24 mil 300 millones vendrán por 5G. Los beneficios directos estimados en autos, salud, transporte y *utilities* crecerían hasta 62 mil 500 millones en 2025, según la Comisión Europea.

En materia de Internet de las cosas, Ericsson "prevé que las conexiones de IoT celular aumenten de mil millones en 2018 a 4.1 mil millones en 2024. Para fines de 2024, casi 35 por ciento de las conexiones de IoT celular serán IoT de banda ancha, con 4G conectando a la mayoría". Se espera que los primeros módulos que admiten casos de uso de IoT crítico se implementen en 2020.

Para América Latina la situación es un poco más lenta. La mayoría de los lanzamientos 5G están previstos para mediados de 2020, justo después de la liberación del estandar y de mejoras significativas de dispositivos e infraestructura en las economías de escala. Cada país de la región presenta diversos niveles de avance, desde la identificación de las bandas de espectro a lanzar, hasta la elaboración o no de una plan 5G. GSMA Intelligence espera que la cobertura 5G comience con su explosión para 2025 cuando alcance a poco más de 40 por ciento de la población.

En coincidencia, Nokia, Huawei y Ericsson consideran que diversas cadenas de valor verticales de negocio serán transformada de forma irremediable: salud, educación, agricultura, manufactura, energía, seguridad pública, transporte, medios y entretenimiento, automotriz, servicios financieros, ventas al detalle, logistica… y de ahí podríamos ver casos a detalle como trenes, museos y ciudades conectadas.

10. Jorge.indd 227 12/17/19 16:42

VII. NUEVOS RETOS JURÍDICOS Y REGULATORIOS

El despliegue de 5G necesita una revisión cuidadosa en varias áreas. La primera de ellas con el despliegue de infraestructura. Esta tecnología va a necesitar cantidades heroicas de fibra óptica y radiobases, así como espacios para Wi-Fi 6. La regulación subregional de estados, provincias o departamentos, así como alcaldías o ayuntamientos, debe transformarse rápidamente para abatir las barreras de entrada en la forma de normatividad local y deberá ser resuelta por procesos de mejora regulatoria que aligeren la carga procesal y de trámites para el despliegue de torres, acometidas de fibra óptica y sitios para los Micro Data Centers.

Por otro lado, el uso de Edge Computing o computo al borde, así como nuevos Data Centers, lleva a una integración inevitable de las áreas TIC con telecomunicaciones. Jurídicamente, se integrará una nueva generación de servicios integrados en los que se incluyen servicios, *software* e infrestructura, que supone considerar las nuevas obligaciones e impacto en contratos informáticos, contratos inteligentes, protección de datos personales, derecho a la intimidad, metadatos y almacenamiento transfronterizo de los mismos, particularmente en materia financiera, seguridad nacional, médica o electoral.

Un aspecto fundamental será el análisis del futuro de esta infraestructura en materia de competencia y el destino que tendrán estos activos y recursos en procesos donde alguno de ellos se vuelva repentinamente insumo estratégico para la competencia y se solicite el acceso en condiciones preferenciales. Será relevante el ejercicio de prospección e impacto regulatorio.

VIII. OPORTUNIDADES

Estamos en un momento excepcional de la historia de las comunicaciones, ya que el nuevo ecosistema digital viene acompañado de nueva infraestructura. La vieja regulación en materia de competencia, espectro o insumos de telecomunicaciones que retrase o conculque la conectividad, es mala regulación, incluso violatoria de derechos fundamentales. Lo mismo en materia de política digital.

Aquella política mal diseñada, sin coordinación, desinformada y orientada a la ocurrencia, conculca derechos digitales. Nunca como hoy, el ejercicio de derechos fundamentales, viene acompañado por la certeza que ofrece la nueva infraestructura digital y queda comprobada, empíricamente, la relación entre infraestructura digital y el ejercicio de derechos fundamentales. Por eso, podemos concluir con algunas oportunidades para los gobiernos, independientemente de la estructura administrativa que adopten para regular y hacer política pública digital:

10. Jorge.indd 228 12/17/19 16:42

- Diseñar una hoja de ruta en materia de política pública, para garantizar el ejercicio de los derechos de acceso a las tecnologías de la información, Internet, banda ancha y servicios de telecomunicaciones. Esta hoja de ruta es una Agenda Digital y deberá ser transversal, sectorial, local y municipal.
- Diseñar una hoja de ruta para facilitar el despliegue de infraestructura y la evolución eficiente del mercado e industrias hacia la quinta generación de tecnologías móviles 5G
- Definir un *roadmap* de espectro 5G armonizado, con suficiente capacidad y costo eficiencia.
- Remover barreras de entrada para el despliegue de infraestructura en municipios, alcaldías, estados, departamentos o provincias.
- El Estado, el gobierno y el regulador necesitan mayores inversiones del sector privado para generar cobertura en las áreas más pobres, innovación y evolución de servicios para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos pero, sobre todo, habilitar el ejercicio de sus derechos fundamentales. Se debe repensar la regulación como un sistema de incentivos que estimule la inversión, la convergencia, la cobertura y el despliegue de la quinta generación de tecnologías móviles 5G.
- Necesitamos una economía de competencia convergente para innovar nuevos modelos de negocio y usar eficientemente la infraestructura tecnológica 5G y sus oportunidades.
- Diseñar las condiciones regulatorias y de política pública, para desplegar fibra óptica, cuando menos 10 veces más la cantidad actual pensando en 5G.
- Un nuevo modelo de confianza para la era 5G, en el cual esté incluida la ciberseguridad, privacidad, la protección de datos personales y previsiones en materia de competencia económica.
- Los casos de uso de 5G traerán nuevos requisitos en los dominios de almacenamiento, computación y red, y representarán nuevos riesgos a la confidencialidad, integridad y disponibilidad de los datos tanto de la empresa como del usuario.
- Promover la cooperación multi sectorial para el uso del ecosistema IoT.
- Revisar las políticas de precios de espectro para fomentar el desarrollo e inversión en infraestructura 5G.

IX. BIBLIOGRAFÍA

Fontanalls, Gustavo. 2019: https://digitalpolicylaw.com/5g-el-ecosistema-para-la-consolidacion-de-las-sociedades-digitales-modernas-desafios-y-oportunidades/

10. Jorge.indd 229 12/17/19 16:42

5G ITU: https://www.itu.int/es/mediacentre/backgrounders/Pages/5G-fifth-generation-of-mobile-technologies.aspx
https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/opb/tut/T-TUT-IMT-2017-1-PDF-E.pdf
https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2020/Pages/default.aspx
https://www.brookings.edu/research/5g-in-five-not-so-easy-pieces/
https://digitalpolicylaw.com/implicaciones-y-beneficios-sociales-de-5g-en-america-latina/
https://www.intel.la/content/www/xl/es/wireless-network/5g-technology-overview.html
https://www.gsma.com/futurenetworks/technology/understanding-5g/
https://www.qualcomm.com/invention/5g/what-is-5g
https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/enterprise-networks/802-11ax-solution/index.html
https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/enterprise-networks/edge-computing.html
https://www.ericsson.com/4a513b/assets/local/mobility-report/documents/2019/emr-q2-2019-update.pdf?utm_campaign=1908-BNEW-EMN-GEN-Mobility%20Report%20-%20August%202019&utm_source=Email%20Send&utm_medium=email&mkt_tok=eyJpIjoiTURNNVl6azJabU5qTjJSaCIsInQiOiIweWNwUDVwTVwvT3ZcL2x0djhra3JNK2pnMEdldVREXC9ERVZGT2Z6MFFmWDRNb3c5Wld6YjFCb0l4SDNxZVwvWE1aT2Q0ZndiNSs5SmVsbXA1V2ZEdVZoVFpmWWdPM2NXMVRcLzJCZzh1VVhnNDJoV0NSdXJ2M0NOZkxMY1lTZkluNE5aIn0%3D
https://www.ericsson.com/en/mobility-report/mobility-visualizer?f=1&ft=1&r=2,3,4,5,6,7,8,9&t=8&s=1,2,3&u=1&y=2018,2024&c=1
https://www.ericsson.com/en/mobility-report/reports/june-2019/iot-connections-outlook
https://www.nokia.com/networks/5g/
https://consumer.huawei.com/mx/campaign/5g/
https://www.gemalto.com/latam/telecom/inspiracion/5g

10. Jorge.indd 230 12/17/19 16:42

Ciencia de datos y el Internet de las cosas: el futuro posible para México

Rolando Menchaca Méndez*

SUMARIO

I. Introducción II. Retos tecnológicos y sociales III. Tecnologías clave para el desarrollo de sistemas IoT + CD IV. El futuro posible V. Conclusiones VI. Referencias

I. INTRODUCCIÓN

Es cada vez más común que los objetos de uso cotidiano cuenten con pequeñas computadoras capaces de interactuar entre sí y con el medio que los rodea. El ejemplo más común es sin duda el de los teléfonos celulares inteligentes (o *smartphones*) que están equipados con un conjunto de sensores que les permiten percibir su entorno, así como con procesadores con capacidad de cómputo que rivaliza con las computadoras de escritorio de hace 10 años. Estos dispositivos han permeado casi todos los aspectos de nuestra vida cotidiana y se han convertido en el medio principal para acceder a una gran variedad de servicios y entretenimiento [Menchaca-Mendez, 2016].

En el contexto industrial se ha dado un fenómeno similar. Es cada vez más común que los procesos de producción sean monitorizados y controlados por medio de dispositivos de cómputo que recolectan información sobre el estado de los componentes de las líneas de producción y que además actúan sobre los mismos para responder a las diferentes condiciones que se puedan presentar. Los datos recolectados por estos dispositivos son continuamente transportados a centros de mando para su visualización, así como a servidores o a la nube donde

* Docente investigador titular y jefe del Laboratorio de Redes y Ciencia de Datos del Centro de Investigación en Computación (CIC), IPN.

11. Rolando.indd 231 12/17/19 16:42

se procesa con el propósito de extraer información que sirva para apoyar la toma de decisiones y para optimizar el funcionamiento de las unidades de producción.

Debido al gran éxito de esta tecnología, se espera que para el año 2025 existan alrededor de 75 mil millones de "cosas" [sta, 2016] con las que interactuamos durante nuestras actividades cotidianas, pero que cuentan con la capacidad de ser controladas de manera remota para monitorizar y actuar sobre su entorno, así como para comunicar los datos recolectados a otros dispositivos cercanos o a la nube. Al conjunto de todos estos dispositivos interconectados entre sí, por medio de redes locales y globales, se le conoce como el Internet de las cosas (IoT por sus siglas en inglés).

El propósito principal del Internet de las cosas es permitir el desarrollo de una nueva generación de aplicaciones y sistemas de cómputo que aumenten la productividad de las industrias, hagan más eficientes a los gobiernos, y en general, mejoren la calidad de vida de las personas. En este sentido, actualmente existen propuestas de sistemas basados en IoT para áreas tan diversas como salud pública e individual, manufactura y agricultura inteligentes, ciudades inteligentes, redes de distribución eléctrica, entre muchas otras. Se estima que para el año 2022, el gasto mundial en tecnologías relacionadas con el IoT sea de $1.2 billones de dólares (sí, $1,200,000,000,000 dólares) [International Data Corporation (IDC), 2018]. Lo anterior se debe principalmente a dos factores. El primero es que el mercado de las tecnologías del IoT ha alcanzado un punto de inflexión en el que los proyectos están pasando de ser pruebas de concepto a desarrollos comerciales [International Data Corporation (IDC), 2018], mientras que el segundo es sin duda el gran potencial de esta tecnología para generar bienestar y riqueza.

El potencial de los sistemas basados en el Internet de las cosas se ha amplificado gracias a la convergencia con un conjunto de tecnologías para el transporte, almacenamiento, gestión y análisis de datos que en su conjunto se conocen como "Ciencia de datos". Gracias a los avances logrados en esta área, es posible analizar los enormes volúmenes de datos generados por los dispositivos IoT con el fin de obtener información relevante sobre las dinámicas en las que los dispositivos IoT se encuentran embebidos. Con la unión de estas dos tecnologías se espera, por ejemplo, que automóviles interconectados por medio de redes vehiculares interactúen entre sí, con el mobiliario urbano como los semáforos, y con los peatones y ciclistas, para evitar accidentes y agilizar el tráfico. Adicionalmente, el cúmulo de datos generados a través del tiempo, tanto por automóviles como mobiliario urbano, puede ser analizado por medio de algoritmos de aprendizaje de máquina para detectar patrones en los flujos de personas que sirvan a los gobiernos para diseñar estrategias globales de mejoramiento de la movilidad urbana. Otro tipo de aplicaciones que incorporan tecnologías de Internet de las cosas y ciencia de datos consiste en monitorizar continuamente, por medio de relojes o

11. Rolando.indd 232 12/17/19 16:42

audífonos, las señales fisiológicas de las personas para obtener datos acerca del su estado físico. El objetivo es utilizar esta información para ayudar a las personas a mejorar sus hábitos, detectar posibles enfermedades y habilitar acciones de salud preventiva. Como en el escenario de movilidad, el cúmulo de datos obtenidos a partir del monitoreo de poblaciones de individuos puede ser utilizado para detectar patrones que sirvan para diseñar estrategias de salud pública o para responder efectiva y eficientemente a emergencias como los brotes epidémicos.

Existen otros proyectos donde se propone utilizar tecnologías de Internet de las cosas para que los residentes de las grandes ciudades cultiven en sus casas su propia comida bajo condiciones controladas por medio de sensores y actuadores conectados a Internet. La filosofía de este tipo de proyectos es que las personas compartan sus experiencias por medio de redes sociales para que de manera colectiva se encuentren las condiciones ideales (humedad, luminosidad, proporción de nutrientes) para cultivar cada tipo de planta.

En el contexto de la industria, actualmente una de las aplicaciones más populares del IoT y la ciencia de datos consiste en analizar la información recolectada por sensores para predecir fallas en las máquinas. Lo anterior permite tomar acciones de mantenimiento preventivo y así reducir los paros no planificados de las líneas de producción. Por otro lado, el IoT industrial permite aumentar la eficiencia y productividad de las industrias por medio del control coordinado de los diferentes componentes de un proceso de producción. Otro de los beneficios de la introducción del IoT en la industria es que puede dotar a las líneas de producción de una gran flexibilidad. Lo anterior se debe a que el IoT permite que los diferentes componentes puedan ser configurados y controlados con gran precisión desde un centro de mando.

De manera similar a los casos anteriores, la información obtenida a partir del análisis de los datos históricos recolectados sobre las líneas de producción, puede revelar información importante para soportar decisiones estratégicas a diferentes escalas. La relevancia de la incorporación del Internet de las cosas y la ciencia de datos en la industria es tal que se considera que ha dado origen a la llamada cuarta revolución industrial (o *Industry* 4.0) [Lu, 2017] [Zhong et al., 2017]. En general, las metas de la Industria 4.0 son aumentar la eficiencia y productividad por medio de la automatización, la adaptabilidad, el mejoramiento de la interacción humano-máquina, así como la coordinación y toma de decisiones basada en datos.

Como puede observarse en los escenarios anteriores, la capacidad de monitorización y control remoto del Internet de las cosas nos brinda la oportunidad de saber con precisión y en todo momento *qué* está pasando con nosotros mismos y a nuestro alrededor, ya sea en un entorno doméstico o industrial. Lo anterior, es cierto a diferentes escalas, ya que el IoT nos permite conocer el estado que

11. Rolando.indd 233 12/17/19 16:42

guarda desde una máquina individual hasta un conglomerado de industrias que interactúan entre sí. Por su parte, los algoritmos de análisis de datos nos permiten entender el *porqué* del comportamiento de los sistemas que están siendo monitorizados y controlados por dispositivos IoT. Con la información obtenida a partir del análisis de estos datos es posible tener un conocimiento más profundo de las diferentes dinámicas asociadas con el sistema monitorizado, lo que permite abordar de manera eficiente las problemáticas detectadas, así como aprovechar de manera efectiva las oportunidades identificadas.

En las siguientes secciones de este documento presentaremos un análisis de los retos tanto tecnológicos como sociales que deben ser abordados para materializar el gran potencial de del Internet de las cosas y la ciencia de datos (IoT+CD). Es importante mencionar que el análisis no pretende ser exhaustivo, su propósito es presentar una muestra significativa de los retos asociados con el desarrollo de aplicaciones IoT+CD exitosas. Posteriormente, se presentará un panorama de cómo la ciencia y las tecnologías actuales pueden ser utilizadas para abordar dichos retos. Se hace particular énfasis en cómo las tecnologías desarrolladas por la academia nacional pueden ser utilizados para materializar los escenarios IoT+CD. En la tercera sección de este documento se describen de manera detallada un conjunto de escenarios donde los sistemas basados en el Internet de las cosas y la ciencia de datos pueden tener un gran impacto tanto en México como en el mundo. Estos escenarios pueden verse como propuestas de proyectos concretos que podrían realizarse en México en el corto y mediano plazo. Finalmente, se presentan las conclusiones obtenidas a partir del análisis presentado en este documento.

II. RETOS TECNOLÓGICOS Y SOCIALES

RETOS TECNOLÓGICOS DEL IOT

Junto con su gran potencial, el Internet de las cosas también trae consigo una serie de desafíos técnicos y científicos sin precedentes, debido principalmente al enorme número de dispositivos que estarán conectados a Internet, a la cantidad descomunal de datos que generarán de manera continua, a la miniaturización de los elementos que la componen, así como a la gran diversidad de dominios de aplicación donde se espera desplegar dicha tecnología. Para enfrentar exitosamente estos retos, actualmente está en desarrollo una nueva generación de plataformas de cómputo y comunicaciones que por un lado son altamente optimizadas y específicamente diseñadas para atender a las necesidades impuestas por la escala y los tipos de escenarios del IoT, pero que al mismo tiempo son de relativa fácil adopción por parte de las personas, los gobiernos y las industrias.

11. Rolando.indd 234 12/17/19 16:42

Para presentar estos retos tecnológicos usaremos un enfoque de abajo hacia arriba, comenzando por las tecnologías de red que comunican a los dispositivos IoT entre sí y con el Internet. Posteriormente presentaremos los retos que enfrentarán los diseñadores de lo que debe ser nueva red global Internet para que sea capaz de interconectar eficientemente a los miles de millones de dispositivos que para el año 2022 se estima generarán 4.8 ZB (1 ZB = bytes = bytes) anuales [CISCO, 2019].. Posteriormente, analizaremos los retos que enfrentan las plataformas de software (típicamente conocidas como *middlewares*) cuyo propósito es ocultar a los desarrolladores de sistemas IoT la complejidad relacionada con los detalles de la comunicación e interacción entre dispositivos. Lo anterior es de suma importancia para reducir el costo y el tiempo necesario para desarrollar sistemas y aplicaciones basadas en IoT. Finalmente, abordaremos dos aspectos que son cruciales para la adopción exitosa del IoT, es decir, la seguridad y la privacidad.

PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN DE ÚLTIMO SALTO

Con el propósito de interconectar la cantidad tan enorme de dispositivos IoT que se espera compongan a los sistemas IoT del futuro es necesario desarrollar protocolos de comunicación, principalmente inalámbricos, que aprovechen de manera eficiente tanto el ancho de banda disponible como la energía eléctrica, y que al mismo tiempo provean garantías de calidad de servicio (QoS por sus siglas en inglés). Lo anterior es particularmente desafiante en el contexto IoT debido principalmente a dos factores. El primero es que las decenas o cientos de dispositivos que se encontrarán físicamente en una misma área geográfica deben coordinarse entre sí para acceder al medio inalámbrico. Esta coordinación distribuida debe ser altamente eficiente en el sentido de que los escasos recursos de red no deben ser consumidos durante las etapas de coordinación. Garantizar calidad de servicio en términos del retardo máximo en las comunicaciones, variabilidad en el retardo (conocido como *jitter*), así como acceso al ancho de banda, es de particular importancia en aplicaciones IoT industriales debido a que la toma de decisiones relacionada con el control de dispositivos se tiene que realizar dentro de los parámetros de operación de los procesos industriales.

La calidad de servicio es en general importante para aplicaciones que utilicen datos síncronos como las comunicaciones por voz y video. Todas estas consideraciones deben ser abordadas tanto por los protocolos de comunicación máquina-a-máquina (M2M por sus siglas en inglés) que interconectan dispositivos locales, como por los protocolos que conectan directamente a los dispositivos IoT con el Internet (como las tecnologías celulares).

11. Rolando.indd 235 12/17/19 16:42

INTERNET DEL FUTURO

Por su parte, los subsistemas de resolución de nombres de dispositivo, enrutamiento y retransmisión de datos de Internet también tienen que ser rediseñados para que la red global sea capaz de transportar eficientemente la astronómica cantidad de datos que generarán simultáneamente máquinas y humanos.

Una de las principales problemáticas del sistema actual es que estas tres funcionalidades básicas son implementadas de manera independiente por tres subsistemas que fueron incorporados a Internet en diferentes etapas de su desarrollo.

Un ejemplo claro de la ineficiencia de esta forma de operar es el sistema de nombres de domino (DNS por sus siglas en inglés) quien es el encargado de traducir los nombres de dispositivo, entendibles por los humanos, a direcciones IP entendibles para los dispositivos enrutadores que hacen operar a Internet. Por ejemplo, para comunicarse con un servicio implementado por una computadora conectada a Internet, primero es necesario traducir el nombre del servicio (una URL, por ejemplo *http://www.ipn.mx*) a una dirección IP, lo que puede implicar establecer múltiples comunicaciones con las computadoras que implementan el esquema jerárquico con el que esta implementado el DNS y que pueden encontrarse localizadas físicamente en diferentes lugares del mundo. En este sentido, es necesario desarrollar nuevas formas de enlazar nombres lógicos con dispositivos físicos, que facilite el proceso de resolución de dicho nombre. Una alternativa es desarrollar esquemas de enrutamiento en Internet capaces de calcular rutas hacia los dispositivos que alojan un servicio dado, sin tener que traducir a una dirección IP. Una consecuencia deseable de un esquema como éste es que se eliminaría el problema de tener que asignarle una dirección IP a todos y cada uno de los dispositivos que se encuentran conectados a Internet.

Por otro lado, es sumamente importante que la arquitectura del Internet del futuro cuente con soporte nativo para la movilidad, así como para seguridad y privacidad. Esto para no repetir la historia en la que estas funcionalidades básicas tengan que ser integradas posteriormente como módulos incrementales (coloquialmente conocidas como *parches*). Finalmente, es necesario que los cambios realizados a los algoritmos y protocolos que soportan al Internet no induzcan complejidad extra lo que redundaría en dispositivos de red más cosos y con un mayor consumo de energía.

ENTORNOS DE DESARROLLO Y MIDDLEWARES

Una de las precondiciones indispensables para alcanzar el potencial el IoT es el desarrollo de entornos de diseño y programación de sistemas IoT, así como de

11. Rolando.indd 236 12/17/19 16:42

capas intermedias de software que oculten gran parte de la complejidad relacionada con la construcción de este tipo de sistemas.

Los entornos de desarrollo deben fomentar la reutilización de soluciones de software además de ocultar, en la medida de lo posible las particulares de los diferentes tipos de hardware y sistemas operativos que coexistirán en un sistema IoT de gran escala. Por su parte, las capas intermedias (o *middlewares*) deben exportar funcionalidades de alto nivel que reduzcan el costo y tiempo de desarrollo de sistemas. Al mismo tiempo, la implementación misma de estas capas de software debe ser, por un lado, altamente eficiente en cuanto a su consumo de recursos de red y de cómputo, además de robustas y tolerantes a las posibles fallas del enorme número de dispositivos que se encontrarán interactuando entre sí. Como en casos anteriores, estos entornos de desarrollo y capas intermedias de software operarán a diferentes escalas para facilitar la programación desde dispositivos individuales hasta la de sistemas complejos que integren múltiples fábricas y almacenes en redes de producción y distribución complejas.

SEGURIDAD INFORMÁTICA

En un mundo donde prácticamente todo estará monitorizado por dispositivos equipados con sensores de la más diversa índole, es indispensable contar con mecanismos de seguridad que eviten que se haga mal uso de la información recolectada por dichos sensores. Más aún, mientras más dispositivos cuenten con la capacidad de ser controlados de manera remota, es imperativo contar con esquemas que eviten que terceras personas maliciosas adquieran control sobre dichos dispositivos.

El reto en este ámbito es grande. Por un lado, las limitantes de hardware de los pequeños dispositivos IoT hacen virtualmente imposible utilizar esquemas de seguridad avanzados debido a su elevada complejidad computacional y a su elevado costo en términos de consumo de energía. Por otro lado, debido a que cada uno de los componentes que integran a un sistema IoT es un potencial punto de ataque, es necesario desarrollar esquemas de seguridad integrales capaces de proteger a la gran diversidad de componentes heterogéneos de hardware y software que los componen. Más aún, los sistemas basados en IoT deben ser diseñados para operar aún y cuando una proporción importante de los dispositivos pertenezcan a atacantes que buscan, ya sea robar información, o interferir con la operación normal del sistema. Esto es particularmente desafiante en un entorno donde múltiples dispositivos heterogéneos se integrarán de manera dinámica a los sistemas IoT.

Con respecto a la privacidad, existe un compromiso entre qué información debe ser enviada a terceras personas (e.g., empresas, gobiernos) para su aná-

11. Rolando.indd 237 12/17/19 16:42

lisis, y qué información debe permanecer en manos de su dueño. Compartir demasiada información puede generar riesgos de seguridad, mientras que compartir muy poca puede limitar severamente la efectividad del análisis de los datos. Lo anterior es cierto tanto para empresas como para personas que buscan obtener beneficios del análisis avanzado de sus datos.

RETOS TECNOLÓGICOS DE LA CIENCIA DE DATOS

La capacidad de la ciencia de datos de generar modelos sobre fenómenos altamente complejos está revolucionando casi todos los aspectos de nuestras vidas. Por un lado, se ha consolidado como una herramienta fundamental para el desarrollo de grandes avances en una amplia diversidad de disciplinas científicas y tecnológicas como la medicina, la biología, la física, entre muchas otras. Por otro, lado su uso también ha sido parte fundamental en el éxito de muchas de las empresas más productivas del mundo como Amazon. Sin embargo, a pesar del éxito de la ciencia de datos, aún existen una serie de retos científicos y tecnológicos que deben ser atendidos para maximizar aún más su impacto benéfico.

Una de las principales desventajas de los modelos obtenidos a partir de muchos de los algoritmos de aprendizaje de máquina más populares para el análisis de datos es que son modelos de *caja negra*. Esto significa que dichos modelos pueden ser utilizados para predecir el comportamiento futuro del fenómeno bajo estudio pero que no proveen información acerca del porqué de ese comportamiento. En el ejemplo de la aplicación que tiene como objetivo predecir cuándo fallará un componente de una línea de producción, el modelo de caja negra nos entrega, por ejemplo, la probabilidad de que la máquina falle en un tiempo dado. No nos dice, sin embargo, porque es que la máquina fallará. Esta última información puede ser de utilidad, por ejemplo, para prevenir que la máquina falle.

Existen otros contextos donde el uso de modelos de caja negra puede afectar de manera negativa la vida de las personas, por ejemplo, en el sector financiero se utilizan modelos generados por algoritmos de aprendizaje de máquina para decidir si se debe otorgar, o no, un crédito. Otros ejemplos similares aparecen en el cálculo de primas de seguros médicos y en la contratación de empleados. En cada uno de estos casos el resultado del modelo de caja negra puede injustamente perjudicar a un solicitante cuando los datos que fueron utilizados para generar dicho modelo incluyen sesgos hacía ciertos grupos sociales. En todos estos casos, al tratarse de un modelo de caja negra, no es posible conocer la razón detrás de un dictamen adverso, la cuál podría ser simplemente el grupo étnico de la persona.

11. Rolando.indd 238 12/17/19 16:42

Como puede verse en los ejemplos anteriores, es necesario desarrollar técnicas que permitan extraer el conocimiento codificado en estos modelos de caja negra. Por un lado, esto nos permitirá reducir el riesgo de que se cometan injusticias, pero por el otro, nos proveerá de una herramienta sumamente poderosa para estudiar y entender los fenómenos complejos que son analizados por los algoritmos de aprendizaje de máquina.

Otro reto importante que enfrenta la ciencia de datos es el de la escalabilidad. Como hemos comentado, la adopción cada vez más generalizada de las aplicaciones IoT traerá consigo la generación de un volumen descomunal de datos que deben ser almacenados para su posterior análisis por medio de algoritmos estadísticos y de aprendizaje de máquina. En este sentido, es necesario desarrollar tecnologías capaces de almacenar y gestionar eficaz y eficientemente estos volúmenes de datos que no tienen precedente. A esta área de las ciencias de la computación se le conoce como gestión de grandes volúmenes de datos (o *Big Data*). De igual forma, es necesario desarrollar una nueva generación de algoritmos de análisis de datos altamente escalables que sean capaces extraer información de grandes volúmenes de datos en un tiempo razonable. Lo anterior debido a que la mayoría de los algoritmos actuales no están diseñados para operar con las cantidades de datos generados diariamente por las aplicaciones IoT.

RETOS SOCIALES

El reto de incorporar exitosamente el IoT y la ciencia de datos en los diferentes ámbitos de las actividades humanas es grande y requiere de esfuerzos coordinados de gobiernos, industrias y academia. En este sentido, alrededor del mundo existen ya un número importante de iniciativas desarrolladas por consorcios conformados por gobiernos, universidades y grupos de empresas cuyo objetivo es desarrollar planes estratégicos para aprovechar el gran potencial del IoT y la ciencia de datos. En el contexto industrial tenemos ejemplos como la iniciativa alemana para la Industria 4.0 [Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, 2013], el consorcio para el Internet industrial (IIC) que incorpora a empresas como GE, AT&T, Cisco, Intel e IBM [Lin et al., 2017], la iniciativa de cadena de valor industrial (IVI) de Japón [Japan, 2016], la iniciativa "Made in China 2025" [The State Council, 2015], entre otras.

En este contexto, es importante que en México se repliquen este tipo de iniciativas para llevar el IoT y la ciencia de datos (IoT+CD) a los tres niveles de gobierno, al campo, a las empresas grandes, medianas, pequeñas y micro; así como a todo el sistema educativo, desde la educación básica hasta el posgrado. Como en otros países, esto requiere de un esfuerzo coordinado de todos los sectores

11. Rolando.indd 239 12/17/19 16:42

involucrados. El objetivo final, es desarrollar tecnología que pueda ser aplicada en todos los aspectos antes mencionados, sin que cada empresa, cada gobierno, cada universidad tenga que invertir de manera individual la cantidad de recursos necesarios para esto. Es importante recalcar, que aún más grande que el reto de incorporar IoT+CD en todos los aspectos de la vida nacional, son los beneficios que se podrían obtener a partir de la implementación exitosa de estos sistemas.

III. TECNOLOGÍA CLAVE PARA EL DESARROLLO DE SISTEMAS IOT+CD

En esta sección se presenta un panorama general de algunas de las tecnologías más relevantes en el contexto de los sistemas IoT+CD. Como en la sección anterior, el contenido está organizado siguiendo una estructura de abajo hacia arriba, comenzando por la tecnología de sistemas embebidos, pasando por las tecnologías de redes de computadoras hasta culminar con las plataformas más populares para desarrollar soluciones basadas en algoritmos de aprendizaje de máquina.

SISTEMAS EMBEBIDOS

Como hemos mencionado, los dispositivos IoT tienen como propósito principal monitorizar y actuar sobre el ambiente que los rodea. Muy comúnmente, estos dispositivos se encuentran embebidos en objetos que pueden encontrarse en una amplia diversidad de ambientes, desde científicos, industriales o agrícolas, hasta cotidianos y de entretenimiento. Por lo anterior los dispositivos IoT son generalmente computadoras de pequeñas o muy pequeñas dimensiones integradas en una única tarjeta ("*Single Board Computers*", SBC) que cuenta con sensores y funcionalidades de red, o en sistemas de cómputo que se encuentran en un único dispositivo integrado ("*System-on-Chip*", SoC). Ejemplos de los dispositivos SBC son los Arduino IoT y Raspberry Pi, mientras que Espressif ESP y Arm Cortex son ejemplos SoCs.

Todas las plataformas antes mencionadas cuentan con entornos integrados de desarrollo ("*Integrated Development Environment*", IDE) que fueron creados para facilitar la construcción de aplicaciones IoT usando lenguajes de alto nivel como C/C++. Las aplicaciones IoT se ejecutan sobre sistemas operativos especializados para estos entornos de cómputo que típicamente cuentan con recursos limitados. Por ejemplo, el sistema operativo de código abierto Contiki OS provee una amplia gama de herramientas para el desarrollo de sistemas IoT, únicamente requiere de 10 kilobytes de memoria RAM y 30 kilobytes de memoria ROM. Otros ejemplos de sistemas operativos para dispositivos IoT son Windows 10 IoT, Android Things, ARM Mbed OS, Amazon FreeRTOS y Ubuntu Core.

11. Rolando.indd 240 12/17/19 16:42

REDES INALÁMBRICAS

Las tecnologías de comunicación máquina-a-máquina encargadas de interconectar a los dispositivos IoT se pueden clasificar en dos categorías, las utilizadas para interconectar entre sí, de manera local, múltiples dispositivos, y las utilizadas para conectar dispositivos individuales a Internet.

A la fecha, los estándares que más se han utilizado para conectar múltiples dispositivos entre sí son Zigbee, IEEE 802.15.4, 6LoWPAN y Bluetooth. Desafortunadamente, estos protocolos no cumplen de manera cabal con los requisitos anteriormente expuestos para proveer comunicación eficaz y eficiente entre un número creciente de dispositivos IoT. Una tecnología más prometedora es el estándar IEEE 802.11ah [IEEE, 2017] que fue diseñado para soportar escenarios que incluyen un gran número de dispositivos con restricciones de energía. El estándar también incluye soporte para calidad de servicio (QoS) con énfasis en la eficiencia y la escalabilidad [Adame et al., 2014]. En el contexto de las comunicaciones máquina a máquina, en el Laboratorio de Redes y Ciencia de Datos (RyCD-Lab) del CIC-IPN se han desarrollado protocolos específicamente diseñados para minimizar el consumo de energía de los dispositivos IoT [Villordo-Jimenez et al., 2018], y que al mismo tiempo optimizan la capacidad de la red y el retardo que experimentan los flujos de datos. Lo anterior, tanto en redes de sensores tradicionales como en escenarios del IoT. Uno de los resultados a resaltar, es el desarrollo de un nuevo protocolo de acceso al medio que utiliza elecciones distribuidas basadas en funciones *hash*, para proveer simultáneamente alta utilización del ancho de banda y alta eficiencia energética [Camacho-Escoto et al., 2017].

Por su parte, la tecnología celular ha sido la más empleada para conectar dispositivos individuales al Internet. Esto, a pesar de que ninguna de las versiones actuales de comunicación celular (3G y 4G) está optimizada para el IoT. A diferencia de las versiones 3G y 4G, la tecnología 5G fue concebida para cubrir las necesidades del IoT, en particular, se incorporaron los siguientes ocho requerimientos que son clave para el adecuado funcionamiento de este tipo de sistemas [Agiwal et al., 2016]. (1) Tasas de transmisión reales de 1-10 Gbps (Gigabits por segundo), lo que implica un incremento de 10 veces más que la capacidad teórica de las redes 4G basadas en LTE (*Long Term Evolution*). (2) Retardos de ida y vuelta de 1 ms, lo que implica una reducción de 10 veces menos que 4G. (3) Alto ancho de banda por unidad de área. (4) Soporte para conectar simultáneamente un gran número de dispositivos. (5) Disponibilidad durante el 99.999% del tiempo, es decir, que la red esté prácticamente siempre disponible. (6) Cobertura en todo lugar en todo momento. (7) Soporte para comunicaciones

11. Rolando.indd 241 12/17/19 16:42

verdes lo que implica una reducción del consumo de energía de un 90%. (8) Reducción del consumo de energía de la batería de los dispositivos móviles.

INTERNET

Una de las claves del éxito de la arquitectura actual de Internet (también conocida como la red de redes) es la simpleza y universalidad del protocolo IP (*Internet Protocol*), que ha permitido interconectar exitosamente una gran diversidad de redes heterogéneas y de soportar una gran variedad de protocolos. Entre estos últimos, cabe mencionar al protocolo HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) que es utilizado tanto para acceder a páginas web, como para establecer comunicaciones máquina a máquina por medio de servicios Web (*Web Services*).

A pesar del gran éxito del Internet actual, el crecimiento del número de dispositivos conectados, los cambios en los patrones del tráfico generado por las aplicaciones modernas como las comunicaciones máquina a máquina (incluidas las aplicaciones IoT), la movilidad de los dispositivos y los datos, el éxito del modelo de cómputo en la Nube (*Cloud Computing*), así como los sistemas que utilizan grandes volúmenes de datos (Big Data), han impuesto requerimientos que van más allá de la capacidad actual de Internet. En respuesta a estos requerimientos, actualmente existen diferentes propuestas por parte de consorcios compuestos por universidades y empresas para definir lo que será la arquitectura del Internet del futuro. De manera resumida, estás propuestas incluyen redes núcleo extensibles que interconectan numerosos centros de datos, nuevos esquemas de distribución escalable y eficiente de tráfico, solución al problema de nombrado basado en direcciones IP, soporte a la movilidad de los dispositivos inalámbricos, así como flexibilizar la forma de nombrar recursos para soportar diferentes modelos de comunicación entre entidades como computadoras, contenido y servicios [Ambrosin et al., 2018]. Como parte de los desarrollos recientes en esta materia, en el Laboratorio de Redes y Ciencia de Datos del CIC-IPN se propuso un protocolo de encaminamiento que permite la comunicación eficiente con grupos dinámicos de computadoras, servicios, contenido o personas [Garcia-Luna-Aceves et al., 2018].

Como puede verse, nos encontramos en un punto de inflexión en el que se están definiendo las tecnologías de Internet y de redes móviles que serán la base de las aplicaciones y negocios del futuro. Como ya hemos argumentado, dado el impacto tan grande de estas tecnologías en todos los aspectos de la vida nacional, es de suma importancia que en México se lleven a cabo iniciativas que coordinen los esfuerzos de las dependencias del Estado, academia y empresas nacionales para generar la infraestructura física y de conocimiento necesaria para

11. Rolando.indd 242 12/17/19 16:42

aprovechar a cabalidad el potencial del IoT+CD para generar riqueza y bienestar. En el caso particular de las redes de comunicaciones, con la puesta en marcha de CFE Telecomunicaciones y del programa de "Internet para todos" se tiene una buena oportunidad para implementar un plan estratégico para introducir las comunicaciones 5G en todo el país. Asimismo, es pertinente evaluar la posibilidad de incorporar en dicha iniciativa la construcción y puesta en marcha de una red dorsal nacional, compuesta por un conjunto de puntos de intercambio ("*Internet Exchange Point*", IXP) que interconecten directamente a las instituciones y empresas nacionales sin tener que pasar por los proveedores de servicio de Internet ("*Internet Service Provider*", ISP) de las grandes compañías de telecomunicaciones transnacionales. Lo anterior podría redundar en un aumento en la competitividad gracias a la disminución del costo económico de las comunicaciones, así como en un aumento en la calidad del servicio de Internet en México.

MANEJO DE GRANDES VOLÚMENES DE DATOS: CÓMPUTO EN LA NUBE Y CÓMPUTO EN LA NIEBLA

La enorme cantidad de datos generados por los dispositivos IoT requieren de tecnologías especializadas para su transporte, almacenamiento y manejo, así como para la extracción de conocimiento por medio de algoritmos de análisis de datos. Adicionalmente, es necesario de mecanismos que faciliten la administración del gran número de dispositivos que pueden llegar a conformar un sistema IoT. Todas estas son tareas desafiantes que requieren de personal con alta capacidad técnica. Por lo anterior, el costo de implementar este tipo de infraestructuras de manejo de dispositivos y datos suele ser sumamente elevado. Una alternativa cada vez más utilizada por su efectividad y relativo fácil uso es implementar estas funciones por medio de servicios en la Nube (*Cloud Services*) que dan acceso bajo demanda a recursos avanzados de hardware y software que se encuentran en grandes centros de datos.

En la actualidad, existen servicios de Nube especializados para atender los requerimientos de las aplicaciones IoT. Un ejemplo es Cloud IoT Core, un servicio de Nube que utiliza la infraestructura de Google y que permite conectar, administrar y extraer datos de millones de dispositivos IoT utilizando conexiones seguras. Además, provee herramientas para analizar y visualizar los datos obtenidos de los dispositivos IoT. Otras plataformas de cómputo en la Nube para el IoT son Thingworx 8 IoT, OpenIoT, Microsoft Azure IoT Suite, Kaa IoT entre muchas otras.

En términos prácticos, la principal ventaja del paradigma de cómputo en la Nube es que permite usar plataformas avanzadas de hardware, así como servicios especializados de software, sin tener que pagar el costo financiero completo

11. Rolando.indd 243 12/17/19 16:42

de comprar, mantener, administrar y operar dicho hardware y software. En su lugar, el costo de usar servicios en la Nube es proporcional a la cantidad y tiempo que se utilizan dichos recursos. A esta forma de proveer acceso a plataformas de hardware y software se le conoce como Infraestructura como servicio ("*Infrastructure as a service*", IaaS) y Software como servicio ("*Software as a service*", SaaS), respectivamente. Gracias a este modelo de cómputo, pequeñas empresas y hasta individuos pueden tener acceso a servicios de análisis avanzado de datos sin tener que poseer una plataforma de hardware de alto rendimiento, licencias de software avanzado, ni contratar con personal especializado dedicado a su operación y mantenimiento.

A pesar de que el paradigma de cómputo en la Nube posee ventajas importantes para el desarrollo de aplicaciones IoT+CD, también presenta limitantes relacionadas con la forma en que es implementado. La primera limitante es que el retardo en la respuesta de los sistemas IoT basados en la Nube puede ser alto. Esto se debe a que los servidores que implementan los servicios de la Nube pueden estar localizados en lugares físicamente apartados (por ejemplo, en los Estados Unidos de América). Lo anterior puede no ser aceptable en contextos industriales donde los tiempos de respuesta deben ser pequeños, o en general en aplicaciones con restricciones de tiempo. La segunda limitante del modelo de cómputo en la Nube está relacionada con la privacidad y con el hecho de que los datos de los usuarios tienen que ser transportados a través de Internet, para posteriormente ser almacenados y analizados en los servidores del proveedor del servicio en la Nube. Esto puede no ser aceptable cuando se trata de datos sensibles.

El llamado *Cómputo en la Niebla* (*Fog Computing*) surge como una tecnología complementaria al cómputo en la Nube que tiene como propósito resolver las limitaciones antes mencionadas. El Cómputo en la Niebla es similar al Cómputo en la Nube en el sentido de que en ambos modelos de cómputo los servicios son provistos de manera transparente a los dispositivos y usuarios finales, lo que los aísla de su complejidad. La diferencia fundamental entre estos dos modelos es que la Niebla es implementada por dispositivos heterogéneos (teléfonos inteligentes, sensores y actuadores en artículos de uso cotidiano, etc.) que se encuentran en la proximidad física, mientras que la Nube es implementada por enormes granjas de servidores que pueden encontrarse al otro lado del mundo. Así, la Niebla puede encargarse de proveer servicios sensibles al tiempo, así como servicios de gestión y análisis de datos sensibles. Bajo este esquema, los servicios de cómputo en la Niebla pueden determinar qué datos deben permanecer en los equipos de cómputo locales y qué otros datos pueden ser transportados a la Nube. Una ventaja adicional de esta forma de operar es que puede reducir

11. Rolando.indd 244 12/17/19 16:42

considerablemente la cantidad de tráfico que los sistemas IoT inyectan al Internet ya que sólo una fracción de los datos generados por los dispositivos IoT, o un resumen de ellos, es transportado a la Nube.

En este contexto, en el Laboratorio de Redes y ciencia de datos del CIC-IPN se desarrolló una nueva tecnología, a la cual denominamos *Niebla semántica* [Menchaca-Mendez et al., 2018], cuyo objetivo es optimizar la interacción entre los dispositivos que componen el IoT y el cómputo en la Nube. La plataforma de software que implementa a la niebla semántica está compuesta por un conjunto de algoritmos distribuidos y centralizados que se encargan de coordinar conjuntos dinámicos de dispositivos IoT con el fin de realizar tareas de monitorización del entorno. Adicionalmente, la Niebla semántica es capaz de establecer rutas multi-salto altamente robustas y eficientes para transportar hasta la Nube la información recolectada por los dispositivos IoT. Una de las características más innovadoras de esta plataforma es que utiliza información semántica de los dispositivos IoT para seleccionar a los más adecuados para realizar las tareas que les son encomendadas.

BIBLIOTECAS DE APRENDIZAJE DE MÁQUINA

Actualmente existe un número creciente de bibliotecas de software que proveen implementaciones de un buen número de los algoritmos de aprendizaje de máquina más populares. Estas bibliotecas facilitan enormemente la construcción de soluciones basadas en algoritmos de aprendizaje de máquina ya que reducen significativamente el tiempo de desarrollo.

Entre las bibliotecas más populares está Scikit-learn que soporta la mayoría de los algoritmos clásicos de aprendizaje de máquina para clasificación, regresión, agrupamiento (*clustering*), reducción dimensional, selección de modelos, así como herramientas de pre-procesamiento de datos. Scikit-learn es una biblioteca desarrollada por la comunidad, de código abierto y que puede utilizarse en aplicaciones comerciales por medio de una licencia BSD (licencia que impone restricciones mínimas en el uso y distribución de software). TensorFlow, desarrollada por Google, es otra biblioteca de algoritmos de aprendizaje de máquina de código abierto, que también está disponible de forma libre. TensorFlow incluye implementaciones de algoritmos de aprendizaje de máquina modernos como las redes neuronales profundas ("*Deep Learning Neural Networks*") y puede ejecutarse en una amplia variedad de sistemas operativos y plataformas de hardware. Además de Google, TensorFlow es ampliamente utilizado por empresas como Intel, Coca-Cola y General Electric entre muchas otras. Otras bibliotecas libres y de código abierto son Torch y Orange.

11. Rolando.indd 245 12/17/19 16:42

IV. EL FUTURO POSIBLE

En esta sección se presentan dos escenarios donde se describe cómo el IoT y la ciencia de datos pueden impactar de manera positiva en diferentes industrias y ámbitos de la vida nacional. Es importante recalcar que estos escenarios son factibles de ser implementados utilizando tecnología actual y por lo tanto pueden servir de guía para el desarrollo de proyectos cuyo objetivo sea materializarlos en el corto y mediano plazo.

En ambos casos, la descripción de los escenarios comienza con una presentación general de la funcionalidad de los diferentes elementos que componen al escenario propuesto. Posteriormente se describen con más detalle los servicios a los usuarios finales para posteriormente presentar aplicaciones que hacen uso del análisis de los datos por medio de técnicas de aprendizaje de máquina.

AGROINDUSTRIA INCLUYENTE Y AMIGABLE CON EL MEDIO AMBIENTE

Por medio de una aplicación móvil que se ejecuta en un teléfono inteligente convencional, un pequeño productor puede monitorizar el estado de su cultivo con el propósito de usar técnicas avanzadas de aprendizaje de máquina para optimizar su producción. El acceso a dichas herramientas, puede realizarse por medio de la misma aplicación móvil. A partir de la información de múltiples productores y otras fuentes de datos, empresas o instituciones gubernamentales, como la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, pueden utilizar algoritmos de optimización y de aprendizaje de máquina para determinar estrategias de apoyo a los productores, así como programas de coordinación y distribución de productos que maximicen la ganancia económica y minimicen el impacto ecológico negativo.

En primera instancia, el productor recopila información acerca de su cultivo. Dicha información incluye localización geográfica (obtenida por medio del GPS del teléfono inteligente), tipo y variedad de planta, densidad con la que se sembrarán las plantas, así como propiedades del terreno (por ejemplo, riego o temporal). A partir de esta información y por medio de la misma aplicación móvil, el productor puede acceder a servicios de arado de tierra que utilizan maquinaria de alta tecnología. Estos servicios pueden ser proporcionados por los gobiernos o por empresas privadas.

Periódicamente, también por medio de la aplicación móvil y su teléfono inteligente, el pequeño productor da seguimiento al progreso de su cultivo midiendo la altura de las plantas y tomando fotos de hojas, flores y frutos. Con esta información, junto con datos climáticos, geográficos, geológicos y de dinámica de plagas de la región, un sistema de análisis avanzado de datos que se ejecuta en

11. Rolando.indd 246 12/17/19 16:42

la Nube calcula planes detallados de fumigación, fertilización y riego (en caso de estar disponible) del cultivo. Estos planes diarios determinan tipos, cantidades y concentraciones precisas de cada una de las sustancias a aplicar. El objetivo de estos planes es optimizar el uso de insumos agrícolas al mismo tiempo que se maximiza la productividad del cultivo.

La aplicación móvil también permite acceder a dichos insumos, ya sea por medio de programas gubernamentales o productores privados. También da acceso a servicios de aplicación de las sustancias por medio de drones o vehículos terrestres autónomos. Finalmente, la aplicación puede dar acceso a servicios automatizados para realizar la cosecha y mostrarle ofertas de compra de su producción.

De manera similar a los servicios de arado de tierra, los servicios de fertilización, fumigación y cosecha usando tecnologías avanzadas pueden ser proporcionados por gobiernos o empresas privadas siguiendo un modelo similar al del cómputo en la Nube, es decir "Fertilización como servicio", "Fumigación como servicio" y "Cosecha como servicio". Siguiendo este modelo, las empresas proveedoras de los servicios pueden utilizar la información sobre los productores para generar planes de servicio que maximicen sus ganancias y de igual manera minimicen la generación de contaminantes. Por ejemplo, pueden determinar el equipo y personal ideal para cada tipo de terreno y cultivo, así como programar servicios en campos geográficamente cercanos. De esta forma, aún los pequeños productores podrán acceder a los beneficios de usar tecnología avanzada y personal altamente capacitado. Para fomentar la prosperidad regional, este tipo de empresas, puede ser operada por medio de cooperativas locales apoyadas por el gobierno quien sería el encargado de desarrollar la tecnología especializada.

Por su parte, medianos y grandes productores, pueden automatizar algunas de las funciones antes mencionadas por medio de dispositivos IoT de propósito particular que se encarguen de monitorizar el estado de los campos de cultivo y de los cultivos mismos. Estos dispositivos pueden, por ejemplo, medir la alcalinidad y la humedad de la tierra, así como detectar la presencia de sustancias clave para el adecuado desarrollo de los cultivos. Los dispositivos IoT también pueden encargarse de regar, fertilizar y fumigar los campos de manera automática y con gran precisión, a partir de planes desarrollados por el mismo sistema de análisis avanzado de datos que le da servicios al pequeño productor.

Además de las funciones antes mencionadas, el sistema de análisis de datos puede utilizar información de mercado como los patrones de consumo de los diferentes productos agrícolas (demanda), información de los productores (oferta), información de las redes de distribución de los productos, así como climáticas, para calcular planes regionales de producción agrícola que maximicen las ganancias de los productores, minimicen los costos a los usuarios finales, protejan la biodiversidad, y en general minimicen el impacto ecológico negativo de la

11. Rolando.indd 247 12/17/19 16:42

producción agrícola. Estos análisis pueden revelar, por ejemplo, qué variedad de cultivo será la más rentable para una microrregión determinada, dadas las condiciones climáticas esperadas para ese año. Los planes también pueden incorporar estrategias regionales fitosanitarias para la prevención y control de plagas. A partir de los planes de producción regional, los productores pueden recibir en sus dispositivos móviles información acerca de qué sembrar y cuándo, de forma tal que maximicen la productividad de su negocio agrícola.

A partir del conocimiento preciso de la producción agrícola, así como información sobre la demanda de dichos productos (obtenida, por ejemplo, por medio de la Secretaría de Economía), un sistema de análisis de datos puede determinar planes óptimos de distribución que indiquen dónde se debe comercializar la producción de las diferentes regiones. Estos planes pueden minimizar el costo de transporte, así como la emisión de contaminantes. Un sistema similar, puede encargarse de determinar los precios de productos, insumos y servicios para favorecer de manera integral a todos los participantes de la cadena de producción y distribución.

Finalmente, toda esta información y capacidad de coordinación de la industria agroalimentaria será sumamente útil para responder a una gran diversidad de eventos como el cambio climático o cambios en los patrones de consumo. De igual forma, hará más fácil el establecimiento de industrias secundarias. Por ejemplo, un empresario de leche vegetal, usando los servicios del sistema de análisis de datos, podrá determinar con mucha precisión la pertinencia de establecer una nueva planta de producción en una región dada. En caso de que se haya construido la planta de producción, el empresario puede hacer uso de otro servicio del sistema de gestión y análisis de datos para adquirir sus insumos de forma eficiente y económica. En este caso, el conocimiento del futuro aumento en la demanda generada por la planta, será considerado por el sistema para elaborar planes de producción de años futuros.

SERVICIOS DE SALUD DE CALIDAD EN CADA RINCÓN Y EN TODO MOMENTO

De acuerdo a un reporte publicado en 2017 por "*Markets and Markets*" se espera que el mercado de los servicios de salud basados en IoT crezca de $41.22 mil millones de dólares en 2017, a 158,050 mil millones de dólares para el año 2022. Los principales factores detrás de este crecimiento son la evolución de la tecnología de aprendizaje de máquina y la creciente penetración de dispositivos IoT en las áreas de salud. Lo anterior, aunado a la reducción global de costos que se espera obtener del uso de estas tecnologías [mar, 2016].

11. Rolando.indd 248 12/17/19 16:42

En este contexto, se describe un escenario de lo que puede ser el sistema de salud pública nacional, al integrar tecnologías del IoT con ciencia de datos. Al igual que en el escenario anterior, comenzaremos describiendo los servicios que se pueden ofrecer al usuario final que en este caso es la población en general. Posteriormente, se describe cómo la información recopilada puede ser utilizada para optimizar el sistema de salud en su conjunto.

Los pacientes usan sensores embebidos en accesorios de vestir como relojes, pulseras, anillos, y audífonos, con el propósito de monitorizar de manera continua las señales fisiológicas emitidas por sus cuerpos. Adicionalmente, los pacientes pueden registrar de forma sencilla las tomas de medicamentos, así como los alimentos que consumen. Esta información es recopilada y analizada por un asistente personal de salud, que se puede ejecutar en un teléfono inteligente o en la computadora del hogar, para detectar de manera temprana eventos relevantes para la salud. En los casos en los que se detecte una anomalía, el asistente personal se encarga de ayudar a acceder a los servicios del sistema de salud, por ejemplo, gestionando una cita en la clínica más cercana. Adicionalmente, la información recolectada por los sensores es utilizada para aumentar el nivel de conciencia del paciente, con el fin de propiciar cambios benéficos en sus hábitos diarios. Así, a partir de los datos y alarmas presentadas por el asistente personal, los pacientes pueden identificar con mayor facilidad qué actividades favorecen su salud (medicarse a tiempo, hacer ejercicio, comer sano) y cuales la perjudican. Esta retroalimentación también puede favorecer el apego de los pacientes a sus tratamientos y en general a las actividades benéficas para su salud. Además de la retroalimentación instantánea, los pacientes pueden observar el impacto a largo plazo de sus hábitos diarios.

La población en general también puede utilizar estos dispositivos para monitorizar su estado de salud y adquirir mayor conciencia sobre los efectos de su estilo de vida. En este contexto, el asistente personal puede detectar tendencias negativas y dar recomendaciones tempranas para prevenir futuras enfermedades. De esta forma el asistente personal propicia un cambio de modelo de salud, de meramente reactivo a preventivo.

Es importante mencionar que programas como el de "Internet para todos", junto con el abaratamiento de los dispositivos IoT, hacen factible que este tipo de tecnologías sean desplegadas en todos los rincones del país. Más aún, múltiples estudios concluyen que los modelos de salud pública preventivos tienen el potencial de generar grandes ahorros (e.g., [McCarron & Heaney, 2004][Maciosek et al., 2010]).

La recopilación continua de las señales fisiológicas por medio de dispositivos IoT también abre la posibilidad de contar con expedientes clínicos con un detalle

11. Rolando.indd 249 12/17/19 16:42

nunca antes visto. Estos expedientes clínicos, además de los registros tradicionales con los diagnósticos y prescripciones de los médicos, pueden contener información continua de la evolución de los pacientes, así como registrar de manera precisa los efectos de los tratamientos y los cambios en el estilo de vida. La información contenida en estos expedientes clínicos puede ser de gran ayuda como herramienta de soporte para mejorar futuros diagnósticos y prescripciones. Por otro lado, los expedientes clínicos detallados de poblaciones completas serían un acervo sumamente valioso para la comunidad científica, ya que los datos ahí contenidos pueden ser analizadas para obtener información que ayude a mejorar nuestro entendimiento sobre la naturaleza de las enfermedades y los factores que la rodean. Por ejemplo, sería posible analizar estos datos por medio de algoritmos de aprendizaje de máquina para detectar patrones de interés en las diferentes patologías. Una de las aplicaciones más directas es el desarrollo de nuevos algoritmos de diagnóstico automático que sean capaces de predecir, por ejemplo, futuros eventos cardiacos, cáncer en la piel, células cancerígenas, enfermedades de síndrome metabólico, demencia, entre otros [Topol, 2019].

Desde la perspectiva del sistema de salud público, el contar con un sistema integral de gestión de citas y admisiones a hospitales permitirá conocer con un alto nivel de precisión cuáles son las necesidades específicas de las poblaciones que habitan en las diferentes regiones del país. Con esta información, es posible utilizar algoritmos de optimización para maximizar la calidad de los servicios médicos por medio de la utilización eficiente de la infraestructura de salud, incluyendo instalaciones, equipo y personal médico. Este algoritmo se puede encargar, por ejemplo, de asignar al paciente al área médica mejor capacitada para tratar su padecimiento, tomando en cuenta criterios como distancia geográfica y balanceo de carga de las unidades médicas.

Por otro lado, el sistema también puede utilizar la información de la demanda de los servicios de salud para optimizar la compra de insumos médicos. En este último caso se puede seguir un modelo donde los proveedores registran en el sistema sus productos y precios, y un algoritmo se encarga de elegir las ofertas más convenientes. En este caso, además de precio, el sistema puede tomar en cuenta la calidad de las diferentes marcas, medida en términos de la efectividad mostrada por sus medicamentos para efectivamente curar a los pacientes.

Otra de las aplicaciones del IoT en el sistema de salud, es el desarrollo de sistemas de cirugía robótica [Diana & Marescaux, 2015] controlados por medio de interfaces hápticas avanzadas. Con este tipo de herramientas, los médicos pueden realizar procedimientos quirúrgicos con muy alta precisión, reduciendo enormemente la probabilidad de que ocurran errores humanos. Este tipo de sistemas tiene la capacidad de controlar brazos robóticos con precisión milimétrica, mientras que el médico tiene a su disposición información relevante para el

11. Rolando.indd 250 12/17/19 16:42

procedimiento quirúrgico como imágenes tridimensionales amplificadas del área afectada.

El hecho de que los datos que le son presentados al cirujano son adquiridos por medio de sensores, abre la posibilidad de que el cirujano no se encuentre de manera presencial en el quirófano. De esta forma y gracias a la nueva generación de redes de alta velocidad, será posible que un cirujano experto realice, en el mismo día, procedimientos quirúrgicos a personas que se encuentren en diferentes regiones del país. En este sentido, se puede utilizar la información sobre la demanda de servicios médicos recopilada por el sistema de salud para determinar qué tipo de equipo de cirugía robótica y en qué lugares debe de ser desplegada para maximizar su impacto benéfico en la población.

En un horizonte de 20 años, con el desarrollo de nuevos tipos de sensores y de interfaces humano-computadora avanzadas como la realidad virtual y la realidad aumentada, así como redes de computadora de alta velocidad y bajo retardo, será posible que una buena proporción de las consultas médicas se realicen en el hogar, de manera remota, sin ningún detrimento en la calidad de la atención médica. Lo anterior se debe a que el médico podrá interactuar con el paciente como si ambos estuvieran en su consultorio médico.

V. CONCLUSIONES

Nos encontramos en un punto de inflexión en el que los avances en las redes de comunicación, la inteligencia artificial, así como la miniaturización y abaratamiento de dispositivos sensores y de cómputo abren la posibilidad a una revolución tecnológica que impactará a las industrias, los gobiernos, la educación, la investigación científica y a todos los aspectos de la vida cotidiana.

El potencial para generar riqueza y bienestar de estas tecnologías es enorme, sin embargo, los retos sociales, científicos y tecnológicos asociados con su exitosa utilización también lo son. Por lo tanto, es de suma importancia que surjan iniciativas que integren a la academia nacional, junto con los tres niveles de gobierno y las empresas privadas para diseñar, coordinar e implementen estrategias para el desarrollo y aprovechamiento del IoT y la ciencia de datos en todos los aspectos de la vida nacional. Para esto, es posible aprovechar la experiencia obtenida en iniciativas similares que ya han emprendido otros gobiernos y consorcios de empresas.

Desde la perspectiva tecnológica, dos de los productos clave que deben resultar de estas iniciativas son: (1) Estrategias de recopilación sistemática y automatizada de información relevante para industrias y gobiernos. El objetivo es que esta información sea analizada para fomentar la coordinación, proveer inteligencia que apoye la toma de decisiones y permita optimizar el funcionamiento de empresas,

11. Rolando.indd 251 12/17/19 16:42

cadenas productivas y gobiernos. (2) Poner disponible al público en general soluciones de tecnología avanzada que les permitan obtener ventajas competitivas. El objetivo es que individuos y empresas de todos tamaños puedan acceder a los beneficios de las soluciones basadas en el IoT y la ciencia de datos sin tener que asumir el costo total de su desarrollo. Un modelo que puede ser de particular interés es el utilizado por el cómputo en la Nube donde las empresas únicamente pagan por el uso de las soluciones de tecnología avanzada.

Se presentaron dos escenarios donde se muestra cómo el Internet de las Cosas y la Ciencia de datos pueden impactar de manera positiva a la industria agrícola nacional y al sistema de salud. Éstos, son sólo dos ejemplos del potencial de dicha tecnología, pero es posible visualizar escenarios equivalentes en otras áreas estratégicas como seguridad pública, combate a la corrupción, ciudades inteligentes, industria energética, cadenas de valor industriales, entre muchas otras.

En el contexto nacional, hay iniciativas que pueden favorecer la exitosa implementación de escenarios como los anteriormente descritos, en particular, la iniciativa de "Internet para todos" puede ser fundamental para llevar el IoT+CD a todos los rincones del país. Es importante mencionar, que iniciativas como ésta, complementadas con el desarrollo de infraestructura de red troncal de alta capacidad pueden habilitar el surgimiento de nuevas industrias, así como proveer de ventajas competitivas a las existentes.

Del análisis expuesto en el presente documento se puede concluir que con el propósito de maximizar las probabilidades de que México se convierta en un país próspero, con una industria altamente competitiva, y donde la población en general pueda acceder a servicios de calidad, es pertinente invertir en ciencia y tecnología en general, y en particular en el desarrollo e incorporación del IoT+CD en todos los aspectos de la vida nacional.

VI. REFERENCIAS

Adame et al., 2014] Adame, Toni, Bel, Albert, Bellalta, Boris, Barcelo, Jaume, & Oliver, Miquel. 2014. IEEE 802.11 AH: the WiFi approach for M2M communications. IEEE Wireless Communications, 21(6), 144-152.

[Agiwal et al., 2016] Agiwal, Mamta, Roy, Abhishek, & Saxena, Navrati. 2016. Next generation 5G wireless networks: A comprehensive survey. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 18(3), 1617-1655.

[Ambrosin et al., 2018] Ambrosin, Moreno, Compagno, Alberto, Conti, Mauro, Ghali, Cesar, & Tsudik, Gene. 2018. Security and privacy analysis of national science foundation future internet architectures. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 20(2), 1418-1442.

11. Rolando.indd 252 12/17/19 16:42

[Camacho-Escoto et al., 2017] Camacho-Escoto, José-Jaime, Menchaca-Mendez, Rolando, Rivero-Angeles, Mario E, Menchaca-Mendez, Ricardo,& Martinez-Castillo, Jesús-Elohim. 2017. Energy-efficient medium access control using distributed hash-based elections. Computación y Sistemas, 21(1), 91-100.

[CISCI, 2019] CISCI. 2019. Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017-2022.

[Diana & Marescaux, 2015] Diana, M, & Marescaux, J. 2015. Robotic surgery. British Journal of Surgery, 102(2), e15-e28.

[Federal Ministry for Economic Affiairs and Energy, 2013] Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, Federal Ministry of Education and Research. INDUSTRIE 4.0. Visitado 20-08-2019, obtenido de https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/EN/Home/home.html

[Garcia-Luna-Aceves et al., 2018] Garcia-Luna-Aceves, J J, Martinez-Castillo, Jesus Elohim, & Menchaca-Mendez, Rolando. 2018. Routing to Multi-Instantiated Destinations: Principles, Practice, and Applications. IEEE Transactions on Mobile Computing, 17(7), 1696-1709.

[IEEE, 2017] IEEE. 2017. IEEE Standard for Information technology Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks - Specfic requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 2: Sub 1 GHz License Exempt Operation. IEEE Std 802.11ah-2016 (Amendment to IEEE Std 802.11-2016, as amended by IEEE Std 802.11ai-2016), May, 1-594.

[International Data Corporation (IDC), 2018] International Data Corporation (IDC). 2018. IDC Forecasts Worldwide Technology Spending on the Internet of Things to Reach 1.2 Trillion in 2022.

[Japan, 2016] 2016. Industrial Value Chain Initiative (IVI). Visitado 20-08-2019, obtenido de https://iv-i.org/wp/en/

[Lin et al., 2017] Lin, Shi-Wan, Murphy, Brett, Clauer, Erich, Loewn, U, Neubert, Ralf, Bachmann, Gerd, Pai, Madhusudan, & Hankel, Martin. 2017. Architecture alignment and interoperability: An industrial internet consortium and plattform industrie 4.0 joint whitepaper.

[Lu, 2017] Lu, Yang. 2017. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. Journal of Industrial Information Integration, 6, 1-10.

[Maciosek et al., 2010] Maciosek, Michael V, Coffield, Ashley B, Flottemesch, Thomas J, Edwards, Nichol M, & Solberg, Leif I. 2010. Greater use of preventive services in US health care could save lives at little or no cost. Health Affairs, 29(9), 1656-1660.

[McCarron & Heaney, 2004] McCarron, David A, & Heaney, Robert P. 2004. Estimated healthcare savings associated with adequate dairy food intake. American journal of hypertension, 17(1), 88-97.

11. Rolando.indd 253 12/17/19 16:42

[Menchaca -Méndez, 2016] Menchaca Méndez, Rolando. 2016. Internet del futuro: El Internet de las Cosas y la ciencia de datos. Conversus.

[Menchaca-Mendez et al., 2018] Menchaca-Mendez, Rolando, Luna-Nuñez, Brayan, Menchaca-Méndez, Ricardo, Yee-Rendon, Arturo, Quintero, Rolando, & Favela, Jesus. 2018. Opportunistic Mobile Sensing in the Fog. Wireless Communications and Mobile Computing, 2018.

[The State Council, 2015] The State Council, The People's Republic of China. Made in China 2025. Visitado 20-08-2019, obtenido de http://english.gov.cn/2016special/madeinchina2025/

[Topol, 2019] Topol, Eric. 2019. Deep medicine: how artifficial intelligence can make healthcare human again. Hachette UK.

[Villordo-Jimenez et al., 2018] Villordo-Jimenez, Iclia, Torres-Cruz, Noé, Carvalho, Marcelo M, Menchaca-Mendez, Rolando, Rivero-Angeles, Mario E, & Menchaca-Mendez, Ricardo. 2018. A Selective-Awakening MAC Protocol for Energy-Efficient Data Forwarding in Linear Sensor Networks. Wireless Communications and Mobile Computing, 2018.

[Zhong et al., 2017] Zhong, Ray Y, Xu, Xun, Klotz, Eberhard, & Newman, Stephen T. 2017. Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review. Engineering, 3(5), 616-630.

[sta, 2016] 2016. Internet of Things - number of connected devices worldwide 2015-2025. Statista. Visitado 20-08-2019, obtenido de https://www.statista.com/statistics/471264/iot-number-of-connected-devices-worldwide/

[mar, 2016] 2016. IoT Healthcare Market. Markets and Markets. Visitado 20-08-2019, obtenido de https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/iot-healthcare-market-160082804.html

11. Rolando.indd 254 12/17/19 16:42

CAPÍTULO IV
LA ROBÓTICA Y SUS RETOS PARA MÉXICO

12. Christian.indd 255 12/17/19 16:42

Robótica. Retos y oportunidades para el desarrollo de nuevas tecnologías nacionales

Christian Peñaloza*
David Hernández Carmona**

SUMARIO

I. Introducción II. Contexto global de la industria de la robótica III. La industria de la robótica de México IV. Retos y oportunidades de la industria de la robótica en México V. El futuro de la industria de la robótica en México VI. Robótica en la nueva Era Digital - ¿Cómo México puede incursionar? VII. Bibliografía

I. INTRODUCCIÓN

La robótica ha revolucionado nuestra sociedad principalmente con los grandes avances tecnológicos en procesos de manufactura asistida por robots industriales. Actualmente la mayoría de los artículos que consumimos día a día fueron fabricados con procesos o maquinaria que de alguna forma involucraron la participación de algún sistema robotizado o de automatización. Sin embargo, en esta nueva era donde las tecnologías emergentes como la inteligencia artificial, la realidad aumentada, el internet de las cosas, el Big Data, el cómputo en la nube, la impresión 3D y las neurotecnologías están revolucionando aún más nuestra sociedad, se espera que la tendencia de la robótica también se extienda a otras aplicaciones y que su enfoque pase de la industria manufacturera hacia la industria de servicios a humanos. Países industrializados con alta inversión en ciencia y tecnología ya están empezando a incursionar en nuevos desarrollos enfocados en aplicaciones fuera de la industria manufacturera, sin embargo, México ha tenido un lento avance en este sector.

* Director General, Instituto de Investigaciones en Tecnologías Emergentes, Mirai Innovation Japan.

** Investigador, Departamento de Inteligencia Artificial, Instituto de Investigaciones en Tecnologías Emergentes Mirai Innovation Japan.

12. Christian.indd 257 12/17/19 16:42

Para entender la situación actual de México y poder ubicar sus retos y oportunidades en la nueva era de la robótica, es importante entender el contexto global de la industria y tener puntos de referencia que sirvan de ejemplo para hacer la transición de un país consumidor de robótica a un país desarrollador y exportador de robótica a nivel mundial.

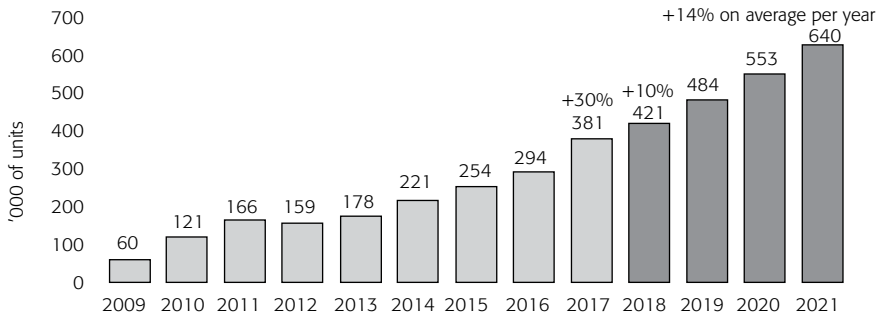
II. CONTEXTO GLOBAL DE LA INDUSTRIA DE LA ROBÓTICA

En las últimas décadas los avances en la robótica como muchas de las tecnologías emergentes presentan un crecimiento exponencial y acelerado. De acuerdo con cifras de la federación internacional de robótica a nivel mundial del 2018[1] hay un aumento en promedio anual de entre el 10 y el 14 por cierto en inversión en procesos de mejora de la producción a través del uso de robots. Sin embargo, en el 2017 el número de robots adquiridos para procesos industriales fue el doble del valor estimado para ese año. Otros puntos importantes a considerar son la distribución geográfica de los robots a lo largo del planeta, además del porcentaje de penetración en temas de educación y desarrollo profesional, así como el fomento a la inclusión en la sociedad del uso de robots, como son los asistentes robóticos; desde las aspiradoras automatizadas para el hogar hasta la implementación de androides o humanoides para la investigación o el fomento de actividades turísticas o recreativas. Todos estos factores fomentan la inversión en la innovación, donde empresas, profesionales y académicos buscan satisfacer los nuevos paradigmas sociales a través de soluciones de vanguardia mediante la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías. Este flujo económico-tecnológico crea nuevos nichos de negocio a través de la integración de una capa de servicios entre la industria y el consumidor final.

[1] International Federation of Robotics. (2019). *Industrial Robot Report 2018 published*. Obtenido de https://ifr.org/ifr-press-releases/news/global-industrial-robot-sales-doubled-over-the-past-five-years

12. Christian.indd 258 12/17/19 16:42

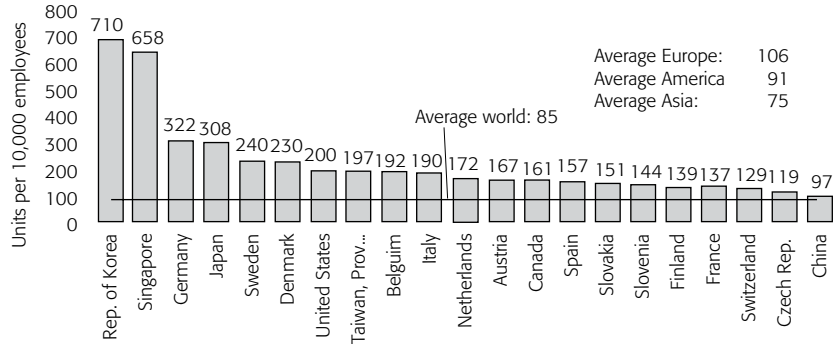
Suministro global anual estimado de robótica industrial (International Federation of Robotics, 2019)



Source: IFR World Robotic 2018.

De acuerdo con las cifras de 2017 de la federación internacional de robótica, los países líderes en producción y manufactura a través de sistemas automatizados tipo robótico conforme a su densidad son: Corea del Sur, Singapur, Alemania, Japón, Suiza, Dinamarca y Estados Unidos[2]; sin embargo, se debe analizar la situación global de manera detalla para comprender el contexto de participación de México en la industria robótica.

Ranking por países en robótica industrial (International Federation of Robotics, 2019)



Source: IFR World Robotic 2018.

[2] International Federation of Robotics. (s.f.). *Automation Degree Report 2018*. Obtenido de https://ifr.org/ifr-press-releases/news/global-industrial-robot-sales-doubled-over-the-past-five-years

12. Christian.indd 259 12/17/19 16:42

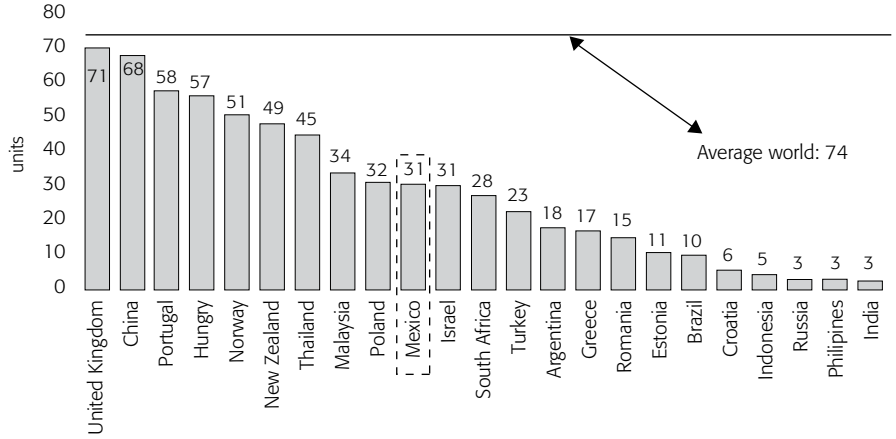
Si bien Corea del Sur encabeza la lista con 710 robots por cada 10,000 empleados en la industria de manufactura, hay que considerar que países como China que aparece con 97 robots ligeramente por encima del promedio mundial de 85 robots en 2017 representó el 36% del total sobre la demanda de robots industriales a nivel mundial rebasando la suma de la demanda de América y Europa combinadas; en ese mismo año en Corea del Sur se presentó una baja del 4% de la demanda con respecto al año anterior principalmente por una disminución en la demanda del 18% de la industria eléctrica y electrónica. Corea del Sur es un líder en innovación tecnológica a considerar siendo el tercer país con más patentes solo después de Japón y Estados Unidos, sin embargo, China es un país altamente industrializado cuya población es aproximadamente 27.6 veces a la de Corea del Sur por lo cual se puede erróneamente subestimar su gran potencial industrial debido a la enorme densidad poblacional aun sin automatizar. Otro punto a considerar es que la industria de Corea del Sur está altamente especializada en la manufactura de tres ramas principales: industria eléctrica, electrónica y automotriz, mientras la mayoría de la industria robótica de China está centrada en los robots industriales por lo que desde un punto de vista comercial Corea del Sur es su potencial. Alemania no solo ocupa el tercer lugar a nivel mundial, sino que además es el país de Europa con mayor automatización industrial representando el 36% de la inversión total en robótica de la región. La industria robotizada alemana está dividida heterogénea entre la industria en general y la automotriz, en los últimos años la industria robótica alemana sigue creciendo un ritmo lento del 5% por año con respecto al 10% promedio mundial. El segundo lugar a nivel mundial en 2017 en robots industriales es ocupado por Singapur otro titán de Asia altamente automatizado, su económica diversa se basa principalmente en la venta al extranjero de derivados del petróleo, circuitos integrados y equipos de cómputo; el 90% de sus robots se encuentran enfocados en las industrias de manufactura electrónica que simboliza el 16% de sus exportaciones. Japón cuya industria automotriz y de transporte constituye sus principales productos de exportación, represento el 56% de la inversión en robótica industrial a nivel global durante ese año, convirtiéndolo en el país número uno en manufactura industrial robotizada. Lo robots japoneses no solo son utilizados en la industria local, ya que en ese mismo año su exportación se incrementó en un 45% principalmente con destino a América del Norte, China y Corea del Sur. Podemos apreciar que los actuales países líderes en robots industriales comparten similitudes, sobre todo en las ramas industriales a las que se encuentran enfocadas principalmente automotriz (33%), electrónica-eléctrica (32%) y siderúrgica (10%).

12. Christian.indd 260 12/17/19 16:42

III. LA INDUSTRIA DE LA ROBÓTICA DE MÉXICO

El panorama de México en la industria de la robótica es un poco desalentador si tomamos en cuenta que nuestro país está dentro de la lista de G20. En el ranking de la robótica industrial, México se encuentra en el puesto número 31 de la lista referente al año 2016 con 31 robots por cada 10,000 empleados en manufactura de los cuales el 80% están enfocados en la elaboración de automóviles y piezas automotrices[3]. Sin embargo, México se encuentra muy por debajo del promedio mundial de 74 robots del año correspondiente. Comparado con los vecinos del norte, Estados Unidos y Canadá, que ocupan el séptimo y treceavo respectivamente a nivel mundial con 189 y 145 robots por cada 10,000 empleados, aún existe un largo camino que recorrer para ubicarse en una posición más favorable. En contraste, México supera fácilmente países de América del Sur como Argentina o Brasil y se encuentra al mismo nivel de Polonia, la octava economía europea, e Israel, que es considerado como una potencia tecnológica. Por otro lado, México está por encima de superpotencias emergentes como Rusia, cuyo producto interno bruto se puede comparar con Canadá y Corea del Sur[4]. Aunque Rusia atravesó varias crisis durante el siglo pasado, en la última década su economía se ha recuperado, ya que posee una economía basada en la explotación del gas natural. En cuanto el panorama socioeconómico y tecnológico existen varias similitudes entre Rusia y México ya que ambos poseen una economía principalmente basada en recursos no renovables por lo que podríamos ubicarlos en el mismo contexto.

México en el ranking de robótica industrial (International Federation of Robotics, 2019)



[3] International Federation of Robotics. (2019). *Robot density rises globally*. Obtenido de https://ifr.org/ifr-press-releases/news/robot-density-rises-globally

[4] Fondo Monetario Internacional. (2019). *Reporte del World Economic Outlook Database (2018)*.

12. Christian.indd 261 12/17/19 16:42

IV. RETOS Y OPORTUNIDADES DE LA INDUSTRIA DE LA ROBÓTICA EN MÉXICO

El futuro de cualquier país no se encuentra ligado solamente a sus recursos naturales y económicos, ya que la historia ha demostrado que la sociedad y sus acciones moldean su progreso e impulsan la innovación. Uno de los retos que enfrenta México es cambiar el paradigma social para integrar las nuevas tecnologías a la sociedad y llevar al país a la vanguardia. A esta enorme tarea se suman fuerzas negativas a vencer como disminuir el índice de desempleo[5] y el empleo informal[6] que se han mantenido constantes en las últimas décadas, aunado al rechazo por parte de las empresas hacia la innovación de los procesos industriales que esta fomentado principalmente por los elevados costos de inversión que implican la adquisición de equipos y lo relativamente barata que resulta la mano de obra en México. Las grandes transformaciones sociales se deben gestionar desde el interior de la misma sociedad, porque cuando el impulso para fomentar el cambio solo proviene de fuerzas externas, el progreso no es duradero y desaparece cuando los intereses de las fuentes fluctúan. La solución es simple; las empresas y el gobierno deben invertir en ciencia y tecnología. Pareciera una afirmación utópica, pero significa el esfuerzo de sociedades civiles, académicos y emprendedores para hacer posible la integración de la tecnología en la sociedad y educación. De acuerdo con reportes de la Banco Mundial[7] la introducción de la tecnología en la industria produce cambios en los modelos de negocio y producción, generando un flujo positivo de crecimiento para las empresas y los empleados, fomentando un desplazamiento del personal actual previamente concentrado en áreas de manufactura a ocuparse de actividades referentes a la mejora en calidad en los productos y la atención al cliente.

Es cierto que no todas las plazas de trabajo seguirán vacantes al integrarse robots y equipos automatizados a realizar tareas rutinarias o eliminar otras obsoletas que solían realizar seres humanos, sin embargo, también es cierto que la correcta implementación de nuevas tecnologías en la industria aumenta la producción y permite incrementar el volumen de clientes y con esto expandir el tamaño de la empresa. De esta forma, el crecimiento de la empresa y su capacidad competitiva

[5] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (s.f.). *Empleo y ocupación INEGI*. Obtenido de https://www.inegi.org.mx/temas/empleo/

[6] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (s.f.). *Empleo y ocupación INEGI*. Obtenido de https://www.inegi.org.mx/temas/empleo/

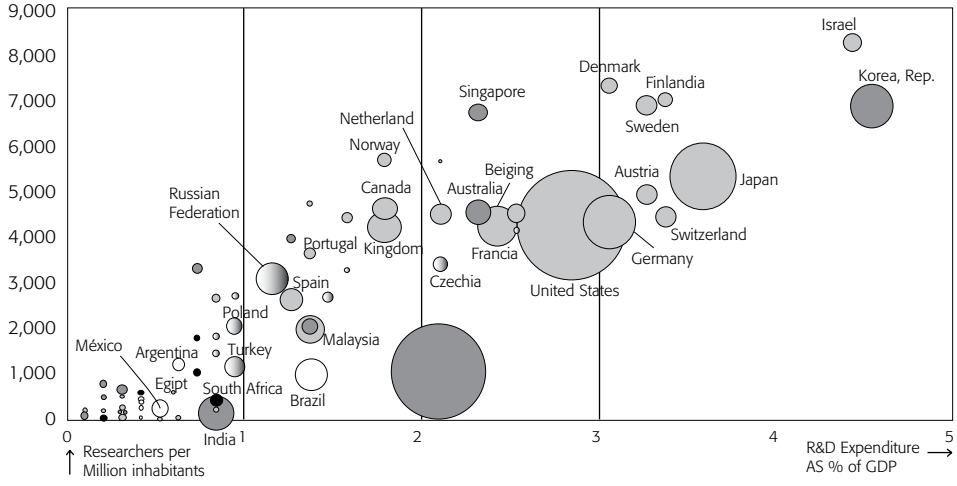
[7] World Bank Group, S. D. (s.f.). *The World Development Report 2019.* Obtenido de http://documents.worldbank.org/curated/en/816281518818814423/pdf/2019-WDR-Report.pdf

12. Christian.indd 262 12/17/19 16:42

permite la creación de nuevos empleos, empleos mejor pagados e incluso empleos que requieren un personal capacitado en las nuevas tecnologías.

Existe una gran carencia en los recursos destinados a proyectos tecnológicos por parte de instituciones públicas y como previamente se ha mencionado, no todas las empresas están dispuestas a afrontar los retos de la Industria 4.0. De acuerdo con cifras del instituto de estadísticas de la UNESCO,[8] en México se invierte menos del 0.5% del PIB en investigación y desarrollo, un valor mucho menor a Brasil, el primer lugar de América Latina con 1.3%. Comparado con Estados Unidos, la diferencia es aún más evidente ya que Estados Unidos invierte el 2.7% de su PIB en investigación y desarrollo. No es para nada sorprendente que el país robóticamente más avanzado, Corea del Sur, invierta 4.3% de su Producto Interno Bruto en investigación de nuevas tecnologías y desarrollo de productos innovadores.

Inversión en Investigación y Desarrollo a nivel mundial (UNESCO Institute for Statistics [UIS])



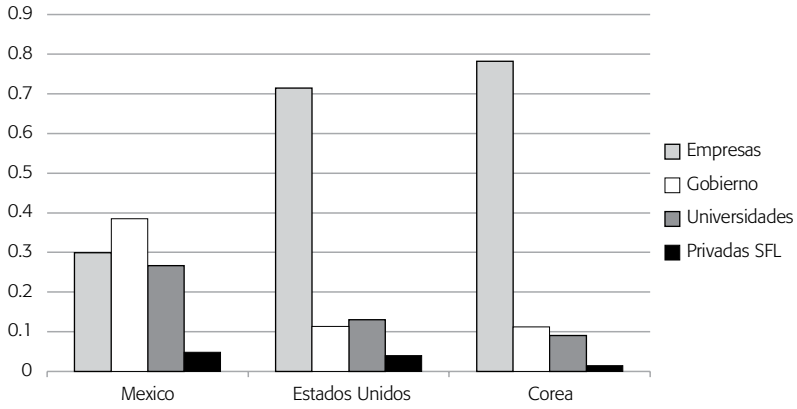
Del porcentaje de PIB invertido por México, el gobierno aporta cerca del 40%, las universidades el 27% del presupuesto total, la industria mexicana aporta solamente el 30% del presupuesto destinado a investigación y desarrollo; mientras la industria americana y coreana aportan el 71.5% y 78.2% respectivamente de los fondos destinados al mismo propósito. Es evidente la necesidad de inversión

[8] UNESCO Institute for Statistics (UIS). (s.f.). *Gasto en Investigación y Desarrollo.* Obtenido de http://uis.unesco.org/apps/visualisations/research-and-development-spending/

12. Christian.indd 263 12/17/19 16:42

de capital para subsanar las deficiencias actuales en tecnología e infraestructura robótica por parte de la mayoría de las industrias en México. Esta carencia es una gran oportunidad para jóvenes y emprendedores para generar productos tecnológicos nacionales capaces de brindar soluciones a los problemas existentes, con un valor agregado y además fomentar la creación de nuevas empresas enfocadas principalmente en la innovación, así como startups que apoyen el talento de los jóvenes mexicanos en proyectos tecnológicos.

Participación en investigación y desarrollo por sector



El futuro tecnológico del país deberá ser cimentado en dos pilares fundamentales: la educación y el emprendimiento, para crear fuentes de empleo con recursos humanos altamente calificados enfocados en tecnologías emergentes y proyectos de talla internacional. En México se debe cambiar la cultura empresarial para pasar de ser un país consumidor de tecnológica y convertirse en un país productor de bienes innovadores. La educación es la guía que decidirá el rumbo tecnológico del país debido a que los avances en la robótica y tecnologías emergentes nos obligan a actualizarnos para evitar que nuestros conocimientos y capacidades queden obsoletas para integrarse a los requerimientos de las futuras industrias nacionales e internacionales.[9]

A pesar de que los jóvenes mexicanos de educación superior y media superior tienen más de una década participando activamente en competencias de

[9] Merca 2.0. (s.f.). *El impacto de la robotización, nuevos empleos.* Obtenido de https://www.merca20.com/el-impacto-de-la-robotizacion-nuevos-empleos/

12. Christian.indd 264 12/17/19 16:42

robótica a nivel mundial,[10] no existe el apoyo económico para alcanzar un nivel suficiente para poder empezar a producir robots. La mejor apuesta de México para posicionarse como una potencia tecnológica en la competencia por el liderazgo a través de la robótica industrial, se encuentra en la creación de empresas orientadas a la integración de tecnologías emergentes como son la inteligencia artificial, internet de las cosas, realidad aumentada, neurotecnologias y por supuesto la robótica. Existen dos vertientes principales para el desarrollo de estas nuevas industrias, la primera se concentra en el crecimiento tecnológico interno del país mediante la oferta de servicios en innovación de procesos para satisfacer las necesidades de las industrias actuales; como son las industrias de manufactura de electrónicos y automotriz que ya realizan empresas extranjeras en territorio mexicano. La segunda apunta a la creación de grandes industrias que desarrollen productos tecnológicos novedosos de venta directa para exportación y consumo nacional, a través de un proceso más extenso de investigación y desarrollo que permita la consolidación de marcas mexicanas. Un ejemplo exitoso de la combinación de ambos enfoques es el caso del gigante tecnológico Huawei[11] en China, que comenzó en 1987 como un distribuidor de productos importados del tipo PBX para centrales telefónicas con una inversión inicial menor de tres mil quinientos dólares (24,000 yuanes), después de conocer el mercado durante dos años y adquirir suficiente conocimiento comenzó a comercializar su de su propia PBX. En 1993, Huawei se convirtió en líder del mercado nacional chino gracias a innovaciones que le permitieron producir un producto que ninguna otra compañía local podía ofrecer hasta el momento, su primer contrato internacional en 1996 con una compañía de Hong Kong le dio la oportunidad de comenzar a expandirse a nivel internacional. Huawei es un excelente ejemplo de cultura empresarial enfocada al avance tecnológico ya que anualmente invierte en promedio más del 10% sus ingresos en investigación y desarrollo[12]. De acuerdo con los reportes de la empresa, en el 2018, más de 80,000 empleados que equivalían al 45% del total de su nómina estaban involucrados en investigación y desarrollo, con una inversión además de 70 billones de dólares destinados al mismo propósito y que son equivalentes al 14.5% de sus ingresos ese año. China es aun considero un país en vías de desarrollo debido principalmente a que posee numerosas regio-

[10] Periodico El Universal . (s.f.). *El auge de México como potencia de la robotica en america latina.* Obtenido de https://www.eluniversal.com.mx/ciencia-y-salud/el-auge-de-mexico-como-potencia-de-la-robotica-en-america-latina

[11] SuccessStory. *Huawei Technologies Co. Ltd.* Obtenido de https://successstory.com/companies/huawei-technologies-co-ltd

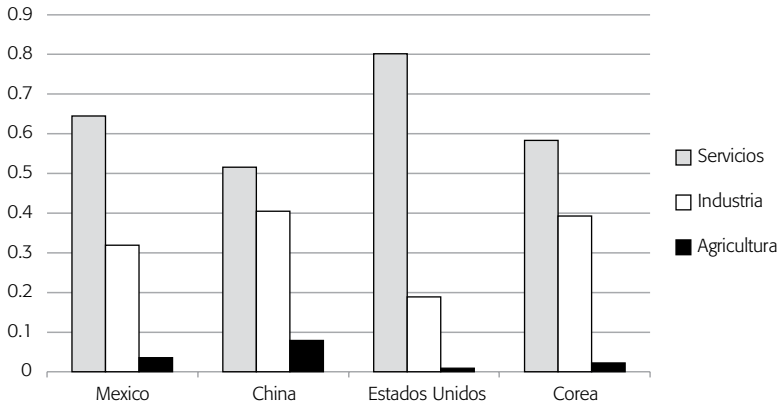
[12] Huawei Technologies Co., Ltd. (s.f.). *Research & Development.* Obtenido de https://www.huawei.com/en/about-huawei/corporate-information/research-development

12. Christian.indd 265 12/17/19 16:42

nes en pobreza, sin embargo, sus empresas tecnológicamente avanzadas lo han convertido rápidamente en la segunda economía más grande del mundo.

Es evidente que la innovación es la clave del éxito para las industrias, y que las grandes empresas son las que impulsan el progreso y por lo tanto definen el futuro de un país. En la etapa tecnológica en la que actualmente se encuentra México resulta más beneficioso el comenzar por integrar las tecnologías emergentes a los procesos industriales y posteriormente expandirse a los mercados internacionales; ya que la industria mexicana representa el 31.9% de su PIB[13], el cual tiene una distribución muy cercana a la que presenta China y Corea del Sur.

Distribución del PIB por sector



V. EL FUTURO DE LA INDUSTRIA DE LA ROBÓTICA EN MÉXICO

Se ha establecido de manera detallada el estado en que se encuentra actualmente la industria de la robótica mexicana y su alcance tecnológico, los principales actores en el ámbito de la innovación tanto de la región como del resto del mundo, se ha definido de manera extensa la relación entre la inversión en investigación y el crecimiento tecnológico de un país, así como los factores que influyen en el desarrollo de los mismos y los enfoques que pueden adoptar las empresas para impulsar la innovación; es entonces momento de explorar a detalle la Industria 4.0 y el futuro de México en la misma. Esta nueva revolución centrada en la robótica, la automatización, el internet de las cosas, el big data y la inteligencia artificial

[13] CIA - Central Intelligence Agency USA. (s.f.). *The World Factbook.* Obtenido de https://www.cia.gov/library/publications/resources/the-world-factbook/

12. Christian.indd 266 12/17/19 16:42

representa un tiempo de cambio y oportunidad de abundancia para todos los países, entonces ¿Por qué las industrias mexicanas se mantienen casi al margen en la incorporación de las tecnologías emergentes a sus procesos? la razón es fácil de entender; por dinero. De acuerdo con la revista Forbes[14], el principal dilema que enfrentan las empresas es comprar equipo o pagar empleados; ya que si bien un robot trabaja 24 horas sin descansos y con una precisión de casi el 100%, los salarios en las industrias de manufactura son tan bajos que algunos equipos pueden valer lo equivalente al salario de un empleado por más de 9 años, además que la mayoría de los robots son importados, lo cual aumenta el precio, dificulta la obtención de refacciones y soporte técnico.

Mientras los equipos robóticos resulten más costosos que la mano de obra equivalente para obtener la misma productividad y calidad, la elección por mantener la manufactura tradicional será una cuestión de economía. Una extensa variedad de industrias en México puede verse beneficiadas durante esta transformación, pero para que suceda a la brevedad posible deben organizarse hacia el mismo propósito tres ejes principales: el gobierno, la academia y la industria. La creación de programas sociales o apoyos fiscales enfocados en apoyar la creación de empresas de la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías debe ser una prioridad por parte del gobierno. Como se describió previamente, son las empresas de los países líderes las que realizan el mayor porcentaje de aportación, por lo que en México se debe fomentar la creación de dichas empresas, no solo invertir en la importación de tecnología. Resulta esencial la rápida integración de las nuevas tecnologías dentro de los planes de estudio de los alumnos de nivel superior y medio superior, la educación es fundamental para la formación del capital humano que conformara dichas empresas y que además remplazara paulatinamente a la mano de obra tradicional en el mercado laboral. El principal factor que frena a los emprendedores es la falta de recursos económicos y lo difícil que resulta introducir sus productos o servicios en las empresas mexicanas por causa de la antes mencionada comparativa costo-beneficio con respecto a la industria tradicional. Sin embargo, es trascendental visualizar la importancia de adoptar las nuevas tecnologías como un producto o servicio a ofrecer, en vez de recursos a consumir. Algunas universidades, escuelas independientes y empresas mexicanas[15] ya lo están entendiendo y ofrecen materias, cursos y seminarios para que los jóvenes se capaciten en robótica y otras disciplinas innovadoras. Las grandes universidades del país deben invertir en crear espacios para el desarrollo

[14] Forbes Mexico. (2018). *Industria 4.0, una revolución que se retrasa en México*. Obtenido de https://www.forbes.com.mx/industria-4-0-una-revolucion-que-se-retrasa-en-mexico/

[15] Mirai Innovation Japan. (2019). *EMERGENT FUTURE TECHNOLOGIES TRAINING PROGRAM 2019*. Obtenido de https://www.mirai-innovation-lab.com/emtech-program/

12. Christian.indd 267 12/17/19 16:42

de tecnologías emergentes y apoyar a los alumnos en la incubación de proyectos que solventen las necesidades actuales de la industria. La tecnología desarrollada mediante este esquema puede impulsar la implementación y prototipado de nuevos proyectos paralelos directamente en la industria; además de permitir la creación de fondos, becas o patrocinios a partir de las ganancias obtenidas de los productos creados o donaciones de las empresas implicadas en los procesos de innovación. Finalmente, las industrias deberán ser las más involucradas en la transformación ya que son las más beneficiadas, si bien al momento pueden seguir operando con normalidad, no hay que olvidar las numerosas empresas que han desaparecido por el simple hecho de no adaptarse a tiempo a las tendencias tecnologías[16]. Todos los sectores productivos se pueden ver beneficiados de la integración de la robótica, no obstante, la robótica de la industria 4.0 va más allá de la robótica convencional donde los robots actúan en solitario para efectuar tareas específicas con muy poca interacción humana, la nueva tendencia tecnológica se centra en los robots colaborativos[17] o "cobots" capaces de modificar su comportamiento con una mayor flexibilidad para asistir a sus "compañeros" humanos en diversas tareas, extendiendo los roles en que participa y por lo tanto mejorando el rendimiento de la inversión necesaria para su adquisición.

Un área excelente de oportunidad para comenzar a desarrollar tecnologías nacionales con un enfoque de crecimiento interno es la industria minera. México es el país con más conflictos mineros en América Latina de acuerdo con la revista Forbes[18]; esto se debe principalmente a la falta de inversión en tecnología en el sector, a las pésimas condiciones de seguridad y lo bajo que son los salarios de los trabajadores, sin embargo este sector representa el 4% del producto interno bruto del nacional. Ejemplo de esta *Minería 4.0* son empresas como Rio Tinto[19] originaria de España con presencia en 16 países, incluidos Estados Unidos y Canadá; con años de experiencia en el sector minero tradicional y que se convirtió en pionera en el desarrollo de camiones autónomos, los cuales son capaces de acarrear minerales grandes distancias principalmente Hierro, Cobre y Aluminio.

[16] Forbes. (2019). *Innovate Or Die: How A Lack Of Innovation Can Cause Business Failure*. Obtenido de https://www.forbes.com/sites/biancamillercole/2019/01/10/innovate-or-die-how-a-lack-of-innovation-can-cause-business-failure/

[17] Eurofound. *Game changing technologies: Exploring the impact on production processes and work.* Obtenido de: https://www.eurofound.europa.eu/publications/report/2018/game-changing-technologies-in-european-manufacturing

[18] Forbes Mexico. (Junio de 2016). *México, el país con más conflictos mineros en América Latina.* Obtenido de https://www.forbes.com.mx/mexico-lider-conflictos-mineros-america-latina/

[19] Rio Tinto Company Limited. (s.f.). *Smarter technology.* Obtenido de https://www.riotinto.com/ourcommitment/smarter-technology-24275.aspx

12. Christian.indd 268 12/17/19 16:42

Rio Tinto estableció la primera red de transporte pesado de larga distancia totalmente autónoma a nivel mundial, sus camiones recorren aproximadamente cien kilómetros sin conductor abordo desde el sitio de extracción hasta la fundición. De esta forma, la empresa mejora la seguridad para todos los trabajadores y crea nuevos empleos que requieren personal altamente calificado para el mantenimiento y supervisión de los vehículos. Otro ejemplo de innovación en la minería es el proyecto ARIDuA[20] - "*Autonomous robots and Internet of Things in underground mining*" financiado por el fondo social europeo (ESF), cuyo propósito incluye la sinergia entre la robótica y estructuras con internet de las cosas en minas subterráneas. Los objetivos del proyecto incluyen el mejorar la seguridad mediante el desarrollo de estaciones con sensores inteligentes que son capaces de monitorear la presencia de gas, la temperatura y la radicación en el interior de la mina, en combinación con robots móviles colaborativos que se encargan de realizar el mapeo, navegación y manipulación en las minas subterráneas. El robot asistente "Julius" cuenta con un brazo robótico que es capaz de sostener firmemente dispositivos para escanear la calidad de las muestras minerales, la investigación y desarrollo de estas tecnologías se está llevando a cabo de manera exitosa en la mina alemana Reiche Zeche, bajo la dirección de investigadores de la Universidad Alemana de Freiberg. La consolidación de la industria 4.0 está transformando los roles que deben ser cubiertos por los equipos de trabajo durante el desarrollo de un proyecto, este cambio obliga la creación de nuevos perfiles profesionales que incluyen habilidades en cibernética, nanotecnología, bioingeniería, inteligencia artificial, etc. impulsando la diversidad de la oferta laboral y creando al mismo tiempo un ambiente perfecto para la innovación y el desarrollo de tecnologías en territorios sin explorar como son la neurotecnología aplicada a la robótica, la nanotecnología enfocada en sistemas aeroespaciales, bioingeniería aplicada a la medicina reconstructiva, por mencionar algunos ejemplos. Existen muchas áreas y problemáticas para explorar en la creación de nuevas tecnologías para los investigadores mexicanos. Gracias a las enormes comunidades científicas en línea, mucha información referente a los descubrimientos y desarrollos más recientes se encuentra a un "click" de distancia; es posible incluso acceder a redes de colaboración científicas donde los aspirantes pueden interactuar y aprender de investigadores que se encuentran ya trabajando en proyectos de alto impacto con tecnologías emergentes.

[20] ResearchGate. *ARIDuA - Autonomous robots and Internet of Things in underground mining*. Obtenido de https://www.researchgate.net/project/ARIDuA-Autonomous-robots-and-Internet-of-Things-in-underground-mining

12. Christian.indd 269 12/17/19 16:42

VI. ROBÓTICA EN LA NUEVA ERA DIGITAL - ¿CÓMO MÉXICO PUEDE INCURSIONAR?

Los robots de esta nueva era digital no se limitan asistir solo en tareas de manufactura o construcción, sino que también se enfocarán a sectores como la salud, el entretenimiento y la bioingeniería. Esta nueva fusión entre las más recientes innovaciones científicas y sus aplicaciones médicas van más allá del monitoreo y la computación ubicua; podemos apreciar entonces la creciente existencia de robots enfocados en el cuidado de pacientes como sucede en países como Japón[21] con personas de la tercer edad. A pesar de que el costo sigue siendo un factor que frena la generalización de este tipo dispositivos en país tecnológicamente desarrollados, es una excelente oportunidad para comenzar a plantear soluciones de bajo costo con el mismo impacto social para el beneficio de todos los mexicanos. Por supuesto, al enfocarnos en la Salud 4.0 no podemos ignorar la creación de prótesis robóticas como un área para explorar en mayor profundidad. Si bien el uso de impresoras 3d y la integración del uso de materiales reciclados en pro de la conservación del planeta ha tenido mucha atención mediática recientemente, es importante considerar la aplicación de otras tecnologías como son la bioingeniería o incluso la neurotecnología. Se ha demostrado que cada vez estamos más cerca de controlar dispositivos robóticos utilizando solamente la mente[22], por lo que la investigación en el desarrollo de brazos robóticos con interfaces cerebrales es un tema que simplemente no podemos ignorar. Otros dispositivos en los que ya se está trabajando y que representan un área de investigación con factibilidad a convertirse en un producto de exportación es la creación de prótesis robóticas para rehabilitación, estos equipos cederían no solo el mejorar el estado de salud de un paciente, sino que además ofrecen un medio para que el médico pueda monitorear y apoyar al paciente y a través de la telemedicina. México tiene varias ventajas en lo que se refiere al desarrollo de tecnologías enfocadas a la salud. De acuerdo con el periódico *El Economista*,[23] México ya es el principal exportador de dispositivos médicos en América Latina, sin embargo esto se debe en gran parte a las numerosas plantas pertenecientes a compañías extranjeras; por lo

[21] THE JAPAN TIMES LTD. (2019). *Robots making inroads in Japan's elder care facilities, but costs still high.* Obtenido de https://www.japantimes.co.jp/news/2018/03/30/national/robots-making-inroads-japans-elder-care-facilities-costs-still-high/#.XPwtxohKjcc

[22] I. Penaloza, C. &. (2018). BMI control of a third arm for multitasking. *Science Robotics*, 10.1126/scirobotics.aat1228.

[23] El economista. (s.f.). *El principal exportador de dispositivos médicos.* Obtenido de https://www.eleconomista.com.mx/opinion/El-principal-exportador-de-dispositivos-medicos-20180729-0093.html

12. Christian.indd 270 12/17/19 16:42

que la creación de empresas de origen mexicano que puedan ofrecer productos innovadores que cuenten con una calidad igual de los que ya se exportan sería una excelente oportunidad a explorar para los emprendedores mexicanos del sector tecnológico. Es importante crear nuevos modelos de negocio basados en la innovación tecnológica y el fomento al comercio con países de todo el mundo, sin embargo, de acuerdo con estudios del banco Santander[24], Estados Unidos sigue siendo un excelente mercado para iniciar la exportación de este tipo de tecnologías, ya que después de la pasada crisis económica, los consumidores americanos comenzaron a considerar el uso de tecnologías de costos más bajos y cambiaron la manera en que invierten su dinero, sus principales gastos se concentran en el sector de salud; el cual ocupa el 20% de sus ingresos.

Ejemplos como el de LAIDETEC[25] reafirman lo importante del desarrollo de tecnologías en México, cualquier innovación que se desarrolle por científicos mexicanos es importante para el progreso del país y puede ser aplicada directa o indirectamente en la robótica, equipos tan complejos como los robots humanoides o los androides no serían posibles sin avances en todas las áreas, desde la computación en la nube hasta la inteligencia artificial. El fortalecer los lazos entre la industria y la academia es de vital importancia, por lo que la investigación es el principal campo de oportunidad para el desarrollo de tecnologías nacionales. El desarrollo de robots basados en seres vivos, como son la robótica de enjambre o "swarm robotics" son campos de la robótica que permiten explorar la problemática de controlar diversos dispositivos en ambientes complicados de manera simultánea, las aplicaciones de este tipo de tecnologías pueden ser la creación de bodegas inteligentes para el manejo de diversos productos desde alimentos y material de construcción hasta residuos peligrosos. Universidades como Harvard[26] han demostrado que estos robots inspirados en hormigas o peces pueden realizar tareas complejas de manera autónoma al combinar el trabajo de todos los individuos, este tipo de robots es ideal para la investigación en universidades y pequeñas empresas debido a que sus aplicaciones son infinitas y se pueden realizar versiones de bajo costo. Una nueva clase de robots voladores inspirados en animales son tecnologías que otros países ya están explorando tanto para la

[24] Banco Santander, S.A. (2015). *Estados Unidos: llegar al consumidor.* Obtenido de https://es.portal.santandertrade.com/analizar-mercados/estados-unidos/llegar-al-consumidor

[25] Secretaría de Economía, México. (2010). *LAIDETEC*. Obtenido de http://www.2006-2012.economia.gob.mx/mexico-emprende/casos-de-exito/25-mexico-emprende/casos-de-exito/8328-laidetec

[26] Hansjörg Wyss Institute for Biologically Inspired Engineering at Harvard University. (2014). *A self-organizing thousand-robot swarm*. Obtenido de https://wyss.harvard.edu/a-self-organizing-thousand-robot-swarm/

12. Christian.indd 271 12/17/19 16:42

creación de algoritmos autónomos de inteligencia artificial, como para el diseño de hardware más eficiente que permita un menor consumo energético durante el vuelo, un ejemplo es el murciélago desarrollado por Festo[27] que vuela con la agilidad de un ser vivo y con la ayuda de cámaras infrarrojas en tierra puede desplazarse de manera casi autónoma en un espacio definido; en Estados Unidos[28] la investigación de estas tecnologías ya se encuentra enfocada en darles un propósito militar. Es evidente que en un futuro no muy distante los robots serán parte constante del entorno social, algo que ya se puede comenzar a verse en tiendas en diversos países como la empresa de telecomunicaciones Softbank y su filial de robótica Softbank Robotics[29] que utilizan un asistente robótico llamado "Pepper" para ayudar a sus clientes a elegir un producto o visualizar el catalogo disponible. La creación de tecnología que permita incorporar a los robots a la sociedad es un excelente objetivo para todos aquellos que buscan innovador el mercado tecnológico e industrial, estos avances no están limitados exclusivamente a la creación de hardware o diseño de dispositivos electrónica, ya que las ciencias que influyen en la robótica son muy bastas y variadas, por lo que cualquier área de ciencia aplicada puede incursionar en proyectar sus avances hacia al campo de la robótica; como sucede con otros desarrollos aplicados en áreas como la medicina o educación.

A través del fortalecimiento de la vinculación entre los departamentos de investigación de las escuelas y la industria se puede generar un espiral virtuoso enfocado principalmente en la creación de tecnologías nacionales, un sector industrial que necesita ser explotado es la agricultura[30], el cual a lo largo de la historia de México ha padecido de una carencia de innovación e inversión; sin embargo, el país tiene el potencial de convertirse en un pilar económico agrícola, ya que actualmente es de los mayores productores de café, azúcar, maíz, aguacate y cítricos del mundo. Es aquí donde las nuevas tecnologías deben cambiar el rumbo que lleva este sector, permitir el incrementar la producción para evitar desabastos y con esto sobreprecios, aumentar la calidad de los productos para ampliar el volumen de exportación y los países y mercados objetivo, así como

[27] Festo. *BionicFlyingFox*. Obtenido de Ultra-lightweight flying object with intelligent kinematics: https://www.festo.com/group/en/cms/13130.htm

[28] CNN Business. (2015). *Robo-wings: Military drones that mimic hawks and insects*. Obtenido de https://edition.cnn.com/2015/01/14/tech/mci-drone-robohawk-robofly/index.html

[29] Forbes. (30 de May de 2018). *Softbank's Robotics Business Prepares To Scale Up*. Obtenido de https://www.forbes.com/sites/parmyolson/2018/05/30/softbank-robotics-business-pepper-boston-dynamics/#389d75b64b7f

[30] Santander Trade. (May de 2019). *Mexico: Politica y Economia*. Obtenido de https://es.portal.santandertrade.com/analizar-mercados/mexico/politica-y-economia

12. Christian.indd 272 12/17/19 16:42

reducir los tiempos entre cosecha y las distintas mermas. La implementación de tecnología agrícola va más allá de solo remplazar al trabajador del campo; que de acuerdo con el banco mundial en México representa cerca del 13% de la población activa del país. Tecnologías robóticas que van desde drones de riego, la robotización de tractores y herramientas para mejorar las condiciones de trabajo de los campos agrícolas que ya existen, hasta la construcción desde cero de invernaderos inteligentes, son tendencias que vale la pena investigar, conjuntamente de la directa intervención de ingenieros en áreas de la robótica y ciencias afines, es una oportunidad para la integración de personas enfocadas en el uso de energías renovables y desarrollo sustentable, así como las ramas referentes al cuidado del ambiente; para que de esta forma sus campos se vean enriquecidos de la experiencia de interactuar en proyectos con nuevas tecnologías y les permita incluir estas innovaciones en Agricultura 4.0 como parte de los procesos que ya emplean. Como es de esperarse si la explotación de los recursos vegetales se ve beneficiada de la integración de los nuevos avances, también lo puede hacer la que se enfoca en el comercio de productos de origen animal, a través del uso de robots en el procesamiento de alimentos se permite establecer protocolos automatizados para el almacenaje y manipulación de los productos, lo que se traduce en mejores condiciones de higiene y por lo tanto en una calidad superior de las mercancías.

VII. BIBLIOGRAFÍA

International federation of robotics. (2019). *Industrial Robot Report 2018 published*. Obtenido de https://ifr.org/ifr-press-releases/news/global-industrial-robot-sales-doubled-over-the-past-five-years

International Federation of Robotics. (s.f.). *Automation Degree Report 2018*. Obtenido de https://ifr.org/ifr-press-releases/news/global-industrial-robot-sales-doubled-over-the-past-five-years

International Federation of Robotics. (2019). *Robot density rises globally*. Obtenido de https://ifr.org/ifr-press-releases/news/robot-density-rises-globally

Fondo Monetario Internacional. (2019). *Reporte del World Economic Outlook Database (2018)*.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (s.f.). *Empleo y ocupación INEGI*. Obtenido de https://www.inegi.org.mx/temas/empleo/

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (s.f.). *Empleo y ocupación INEGI*. Obtenido de https://www.inegi.org.mx/temas/empleo/

World Bank Group, S. D. (s.f.). *The World Development Report 2019.* Obtenido de http://documents.worldbank.org/curated/en/816281518818814423/pdf/2019-WDR-Report.pdf

12. Christian.indd 273 12/17/19 16:42

UNESCO Institute for Statistics (UIS). (s.f.). *Gasto en Investigación y Desarrollo.* Obtenido de http://uis.unesco.org/apps/visualisations/research-and-development-spending/

Merca 2.0. (s.f.). *El impacto de la robotización, nuevos empleos.* Obtenido de https://www.merca20.com/el-impacto-de-la-robotizacion-nuevos-empleos/

Periodico El Universal . (s.f.). *El auge de México como potencia de la robotica en america latina.* Obtenido de https://www.eluniversal.com.mx/ciencia-y-salud/el-auge-de-mexico-como-potencia-de-la-robotica-en-america-latina

SuccessStory. Huawei Technologies Co. Ltd. Obtenido de https://successstory.com/companies/huawei-technologies-co-ltd

Huawei Technologies Co., Ltd. (s.f.). *Research & Development.* Obtenido de https://www.huawei.com/en/about-huawei/corporate-information/research-development

CIA - Central Intelligence Agency USA. (s.f.). *The World Factbook.* Obtenido de https://www.cia.gov/library/publications/resources/the-world-factbook/

Forbes Mexico. (2018). *Industria 4.0, una revolución que se retrasa en México*. Obtenido de https://www.forbes.com.mx/industria-4-0-una-revolucion-que-se-retrasa-en-mexico/

Mirai Innovation Japan. (2019). *EMERGENT FUTURE TECHNOLOGIES TRAINING PROGRAM 2019*. Obtenido de https://www.mirai-innovation-lab.com/emtech-program/

Forbes. (2019). *Innovate Or Die: How A Lack Of Innovation Can Cause Business Failure*. Obtenido de https://www.forbes.com/sites/biancamillercole/2019/01/10/innovate-or-die-how-a-lack-of-innovation-can-cause-business-failure/

Eurofound. *Game changing technologies: Exploring the impact on production processes and work.* Obtenido de: https://www.eurofound.europa.eu/publications/report/2018/game-changing-technologies-in-european-manufacturing

Forbes Mexico. (Junio de 2016). *México, el país con más conflictos mineros en América Latina.* Obtenido de https://www.forbes.com.mx/mexico-lider-conflictos-mineros-america-latina/

Rio Tinto Company Limited. (s.f.). *Smarter technology.* Obtenido de https://www.riotinto.com/ourcommitment/smarter-technology-24275.aspx

ResearchGate. *ARIDuA - Autonomous robots and Internet of Things in underground mining*. Obtenido de https://www.researchgate.net/project/ARIDuA-Autonomous-robots-and-Internet-of-Things-in-underground-mining

THE JAPAN TIMES LTD. (2019). *Robots making inroads in Japan's elder care facilities, but costs still high.* Obtenido de https://www.japantimes.co.jp/news/2018/03/30/national/robots-making-inroads-japans-elder-care-facilities-costs-still-high/#.XPwtxohKjcc

12. Christian.indd 274 12/17/19 16:42

I. Penaloza, C. &. (2018). BMI control of a third arm for multitasking. *Science Robotics*, 10.1126/scirobotics.aat1228.

El Economista. (s.f.). *El principal exportador de dispositivos médicos.* Obtenido de https://www.eleconomista.com.mx/opinion/El-principal-exportador-de-dispositivos-medicos-20180729-0093.html

Banco Santander, S.A. (2015). *ESTADOS UNIDOS: LLEGAR AL CONSUMIDOR.* Obtenido de https://es.portal.santandertrade.com/analizar-mercados/estados-unidos/llegar-al-consumidor

SECRETARÍA DE ECONOMÍA, MÉXICO. (2010). *LAIDETEC*. Obtenido de http://www.2006-2012.economia.gob.mx/mexico-emprende/casos-de-exito/25-mexico-emprende/casos-de-exito/8328-laidetec

Hansjörg Wyss Institute for Biologically Inspired Engineering at Harvard University. (2014). *A self-organizing thousand-robot swarm*. Obtenido de https://wyss.harvard.edu/a-self-organizing-thousand-robot-swarm/

Festo. *BionicFlyingFox*. Obtenido de Ultra-lightweight flying object with intelligent kinematics: https://www.festo.com/group/en/cms/13130.htm

CNN Business. (2015). *Robo-wings: Military drones that mimic hawks and insects*. Obtenido de https://edition.cnn.com/2015/01/14/tech/mci-drone-robohawk-robofly/index.html

Forbes. (30 de May de 2018). *Softbank's Robotics Business Prepares To Scale Up*. Obtenido de https://www.forbes.com/sites/parmyolson/2018/05/30/softbank-robotics-business-pepper-boston-dynamics/#389d75b64b7f

Santander Trade. (May de 2019). *Mexico: Politica y Economia*. Obtenido de https://es.portal.santandertrade.com/analizar-mercados/mexico/politica-y-economia

12. Christian.indd 275 12/17/19 16:42

Robótica e Inteligencia Artificial. Dos áreas de oportunidad para México

Juan Humberto Sossa Azuela*

SUMARIO

I. Resumen II. Introducción III. Robótica de servicio IV. Robótica espacial V. Temáticas de oportunidad en robótica inteligente VI. Conclusiones VII. Referencias

I. RESUMEN

La Robótica y la Inteligencia Artificial (IA), como campos de investigación y desarrollo tecnológico, han venido a ser motores importantes para el desarrollo sostenible de muchos países del llamado primer mundo: Japón, Estados Unidos, Alemania, Suiza, China, Rusia, entre otros. Hoy en día, estas dos áreas son de particular interés no solo para los científicos, sino también para las instituciones gubernamentales y para las pequeñas, medianas y grandes empresas. La Robótica y la IA se están convirtiendo en dos grandes motores de la economía mundial. Hoy no se puede hablar de robots sin inteligencia. Al igual que las computadoras fueron ocupando prácticamente cada lugar de nuestro planeta, es indudable que muy pronto también los robots inteligentes, ya sea físicos o como sistemas computacionales, ocuparán nuestras casas, oficinas, escuelas, calles, hospitales, restaurantes, museos, hoteles, etcétera. Muy pronto, seguramente diversos tipos de robots se desempeñarán de manera eficiente en el espacio, en estaciones orbitales y en fábricas ubicadas en la superficie de nuestro satélite natural: La Luna. Ahí prepararán el terreno para que colonias de seres humanos se desenvuelvan de manera segura y desarrollen una vida normal. Después, probablemente, los robots harán lo mismo en la superficie marciana. Es muy posible que esto suceda también en otros cuerpos celestes de nuestro Sistema Solar (en aquellos donde esto sea posible y conveniente). Finalmente, en un futuro todavía lejano, el hombre conquistará otros sistemas planetarios dentro de nuestra galaxia y, posiblemente, fuera de ella con la ayuda de robots. En este documento se jus-

* Instituto Politécnico Nacional. Centro de Investigación en Computación.

13. Humberto.indd 277 12/17/19 16:43

tifica el por qué la Robótica y la Inteligencia Artificial son dos áreas de gran oportunidad para nuestro país y que coadyuvarán a impulsar su desarrollo, redundando, al final, en una mejor calidad de vida para sus habitantes.

Palabras clave: Robótica, Inteligencia Artificial, Robótica de Servicio, Robótica Espacial.

II. INTRODUCCIÓN

Los robots, ya sea sistemas de cómputo o dispositivos electromecánicos, van ocupando, poco a poco, espacios en nuestras casas, lugares de trabajo. Pronto máquinas "pensantes" lograrán interactuar de manera fluida entre ellas y con nosotros, ayudándonos a realizar tareas tan cotidianas como el llevar y traer cosas, cocinar, hacer el aseo en casa, servir de recepcionistas en hoteles, meseros en restaurantes, guías en museos, asistentes médicos, etcétera.

En el caso particular de robots asistenciales, se trata de máquinas con capacidades especiales para poder interactuar con los seres humanos, para atender algunas de sus necesidades, para auxiliarla, por ejemplo, a una persona con una incapacidad, en su alimentación, baño, etcétera.

En las fábricas los robots inteligentes cooperantes (cobots) auxilian a los seres humanos a realizar las tareas difíciles con menor riesgo y con una eficiencia y eficacia que no se pudieran lograr con únicamente grupos de personas.

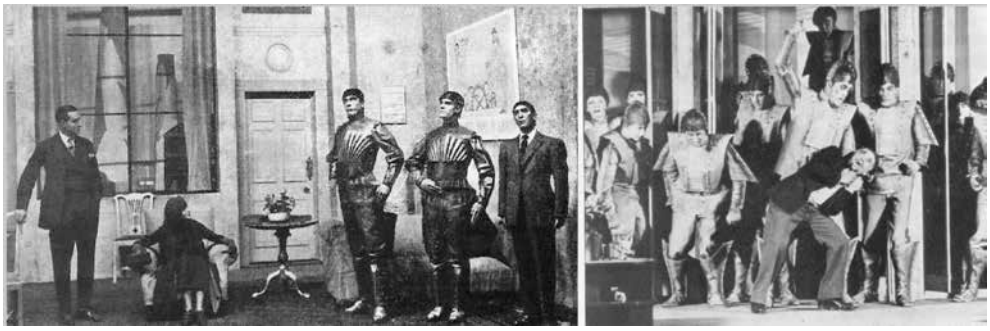
En materia de vigilancia y seguridad, grupos de robots aéreos, submarinos y terrestres ya monitorean los accesos, las acciones y demás actividades que pudieran ocurrir en espacios cerrados y abiertos. Un uso inmediato de los robots inteligentes voladores pudiera ser el robo de combustible.

La idea de que los robots auxilien a los seres humanos a resolver múltiples tareas, liberándolos de que aquellas de carácter tedioso o que acarrear un riesgo, se sabe no es nueva, data de comienzos del siglo pasado cuando Karel Čapek, en su famosa obra de teatro R.U.R. (Robots Universales Rossum), nos narra cómo máquinas con forma humanoide son capaces de interactuar con los seres humanos (Figura 1). Frits Lang y su esposa Thea von Harbou, toma algunas ideas de R.U.R y de una novela de la misma Thea y escriben el guion de la famosísima película Metrópolis (Figura 2).

La Robótica, como es bien sabido, es la rama de la ingeniería mecánica, ingeniería eléctrica, ingeniería electrónica y ciencias de la computación que se ocupa del diseño, construcción, operación, disposición estructural, manufactura y aplicación de los robots [4].

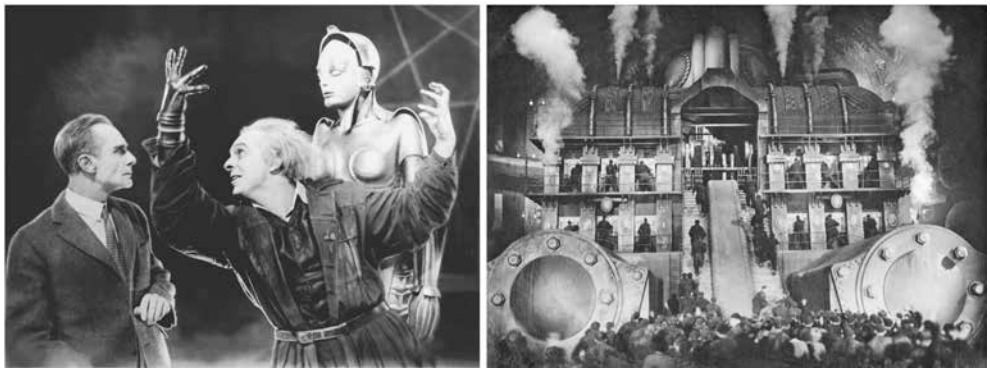
13. Humberto.indd 278 12/17/19 16:43

Figura 1
Fotos representativas de la obra R.U.R.



Fuente: Tomadas de [1].

Figura 2
Fotos representativas de la película Metrópolis de 1927



Fuente: Tomadas de [2] y [3].

Hoy por hoy, se sabe que un robot puede ser una entidad virtual o mecánica artificial, aunque en la práctica, por lo general es un sistema electromecánico que, por su apariencia o sus movimientos, ofrece la sensación de tener un propósito propio [5].

Dos áreas de la Robótica que en los últimos años han despertado un gran interés en diversos sectores, no sólo en el académico, sino también en el gubernamental e industrial son la Robótica de Servicio y la Robótica Espacial. Estas dos ramas de la Robótica han propiciado un gran impulso a la investigación, al desarrollo de tecnología, así como a la economía sobre todo de muchos de los

13. Humberto.indd 279 12/17/19 16:43

llamados países del primer mundo, por ejemplo, Japón, Estados Unidos, Alemania, Suiza, China, entre otros.

En cuanto a la Inteligencia Artificial (IA), en muchos países es un campo de investigación y aplicación con bastante avance. Hoy por hoy, esta tecnológica coadyuva al desarrollo sustentable de los países que la adoptan y usan. Constituye un espacio de grandes oportunidades para el desarrollo científico, pero sobre todo tecnológico e innovador, para la apertura de nuevos mercados y de nuevos negocios.

La IA ha transitado por diferentes concepciones e intereses. En sus primeros años (los 50´s), la investigación en IA pretendía reproducir procesos de inteligencia humana para dar soluciones a problemas formulados en ambientes controlados, por ejemplo, en prueba de teoremas y la solución de juegos estratégicos con reglas previamente definidas.

En los últimos años la IA se ha expandido y diversificado hasta ser considerada, por un lado, como una rama de las ciencias orientada a la creación de máquinas inteligentes, con habilidades para aprender, adaptarse y actuar con autonomía. Por otro lado, el nivel de madurez en IA le confiere ya la calidad de una ingeniería, igual como sucedió, en su momento, con la Electrónica, que al principio era un campo de investigación para los físicos. Con el devenir del tiempo se transformó en una ingeniería, coadyuvando en la creación de carreras tan solicitadas y útiles como la de Ingeniero en Electrónica e Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica.

Los problemas que actualmente la IA aborda están relacionados con el manejo de grandes volúmenes de datos para derivar información útil para la generación automática de algoritmos para la solución de problemas complejos asociados el razonamiento, la percepción, la planeación, el aprendizaje y la habilidad de manipular objetos.

La Robótica y la IA se han convertido en campos multidisciplinarios, con un amplio potencial para generar beneficios para la sociedad. En nuestro país se requiere articular grupos de investigación interdisciplinaria que reúnan a investigadores, técnicos académicos y estudiantes, capaces de desarrollar fundamentos y metodologías orientadas a la modelación de fenómenos y a la resolución de problemas sociales, en campos tan bastos como la medicina, la seguridad, la movilidad y transporte, la previsión y gestión de desastres naturales y la formación de capital humano para beneficio de todos los sectores, público, social y privado.

En este documento se describe por qué la Robótica y la Inteligencia Artificial son dos áreas de máxima importancia para nuestro país y cómo estas pueden convertirse en dos de los motores para impulsar entre otras su economía y bienestar social.

El resto del documento se organiza como sigue. En la sección 2 se dan algunos pormenores acerca de la Robótica de Servicio, se enlistan las diferentes

13. Humberto.indd 280 12/17/19 16:43

categorías de robots de servicio, se dan unas palabras sobre un caso particular de robot de servicio para el hogar, se presentan algunas cifras significativas. Al final de esta sección se habla un poco de los foros donde, de manera común se publica respecto al tema y de algunos de los grupos de investigación más importantes de investigación en esta temática. En la sección 3 se da una introducción a la Robótica Espacial. Se enfatiza sobre la robótica orbital y sobre la robótica de exploración, en ambos casos se dan unas palabras sobre sobre algunos de los diseños mecatrónicos que, en su momento, marcaron el desarrollo espacial alrededor del mundo. En la sección 4 se plantea un par de escenarios para el desarrollo y aplicación de la Robótica Inteligente en nuestro país. Para terminar, en la sección 5 se da una serie de conclusiones.

III. ROBÓTICA DE SERVICIO

La Robótica de Servicio es la parte de la Ingeniería que se centra en el diseño y construcción de máquinas capaces de proporcionar servicios directamente a los miembros que forman sociedad. Un robot de servicio es, pues, un robot que ayuda a los seres humanos, por lo general mediante la realización de un trabajo que es sucio, opaco y distante, peligroso o repetitivo, como las tareas domésticas. Por lo general son autónomos y/o gestionados por un sistema de control integrado en el mismo, y que no requieren de manuales para su operación [6].

El término "robot de servicio" no queda todavía bien definido. La Federación Internacional de Robótica (FIR) propone la siguiente definición:

> *Un robot de servicio es un robot que opera de manera semiautónoma o totalmente automáticamente, para realizar servicios útiles para el bienestar de los seres humanos y equipos; no incluye todas aquellas tareas que tienen que ver con operaciones de fabricación* [6].

Esta clasificación por parte de la FIR, nos muestra que hay al menos 60 aplicaciones distintas. Estas aplicaciones pueden ser agrupadas en las siguientes categorías [7]:

- **Robots de campo:** Agricultura, ganadería (ordeña), forestal, minería, espacio, etcétera.
- **Robots de limpieza profesional:** Limpieza de suelos, ventanas y paredes, tanques y tuberías, piscinas, etcétera.
- **Robots de inspección y mantenimiento:** Alcantarillas, tanques, tuberías, etcétera.

13. Humberto.indd 281 12/17/19 16:43

- **Robots de construcción y demolición:** Desmantelamiento y demolición en instalaciones nucleares, construcción de edificios, etcétera.
- **Robots logísticos:** robots de mensajería y correo, AGVs en fábricas y almacenes, transportes autónomos, etcétera.
- **Robótica médica:** Sistemas de diagnóstico, ayuda en cirugía (cirugía con mínima invasiva), sistemas de rehabilitación, etcétera.
- **Robots de defensa, rescate y seguridad:** robots antiminas o desminado, robots contraincendios, robots de vigilancia y seguridad, vehículos aéreos no tripulados, vehículos terrestres no tripulados, etcétera.
- **Robots submarinos:** Robots soldadores, exploradores, dragadores, localizadores, etcétera.
- **Plataformas móviles de uso genérico.**
- **Brazos robóticos de uso genérico.**
- **Robots para relaciones públicas:** Robots servidores en hoteles y restaurantes, robots guías, robots para marketing, etcétera.
- **Robots de propósito especial:** Robots en estaciones de servicio, por ejemplo.
- **Robots para tareas domésticas:** Robots aspiradores, robots de limpieza de suelos, robots cortacésped, robots limpia-piscinas, etcétera.
- **Robots de entretenimiento:** Robots para jugar, robots de hobby, robots educativos, etcétera.
- **Robots asistentes a discapacitados:** Sillas de ruedas robotizadas, robots de rehabilitación personal, etcétera.
- **Robots transportadores:** Robots para el transporte de personas, robots para el transporte de objetos diversos.
- **Robots para la seguridad y vigilancia en el hogar.**
- **Robots humanoides.**

EJEMPLO DE UN ROBOT DE SERVICIO EXITOSO

Tal vez, uno de los robots de servicio de uso doméstico más difundido en el mercado es el robot Roomba [8] (Figura 3). Roomba es un aspirador robótico fabricado y vendido por la empresa iRobot [9] y [10]. Roomba fue lanzado al mercado en 2002; se calcula que para comienzos de febrero de 2014 ya se habían vendido más de 10 millones de unidades en todo el mundo.

13. Humberto.indd 282 12/17/19 16:43

Figura 3
Fotografía del famoso robot Roomba fabricado por la empresa iRobot

Fuente: Foto tomada de [11]

El sistema robotizado Roomba incorpora, por un lado, un conjunto de sensores de tacto, ópticos y acústicos, dependiendo de la serie y modelo del robot. Estos sensores permiten al robot detectar obstáculos, acumulaciones de residuos en el suelo, así como desniveles pronunciados tales como escaleras. Para poderse desplazar, Roomba utiliza dos ruedas motrices independientes que le permiten ejecutar giros de 360 grados [7].

La serie 900 de Roomba salió al mercado a finales de 2015. Incluye numerosas mejoras con respecto a sus predecesoras, las series 400, 500, 600, 700 y 800. Se trata de un robot mucho más inteligente, por ejemplo, si éste se está quedando sin energía en mitad de una habitación vuelve al punto de carga; sabe en qué punto se quedó en su tarea y volverá a laborar a partir de esa posición [7].

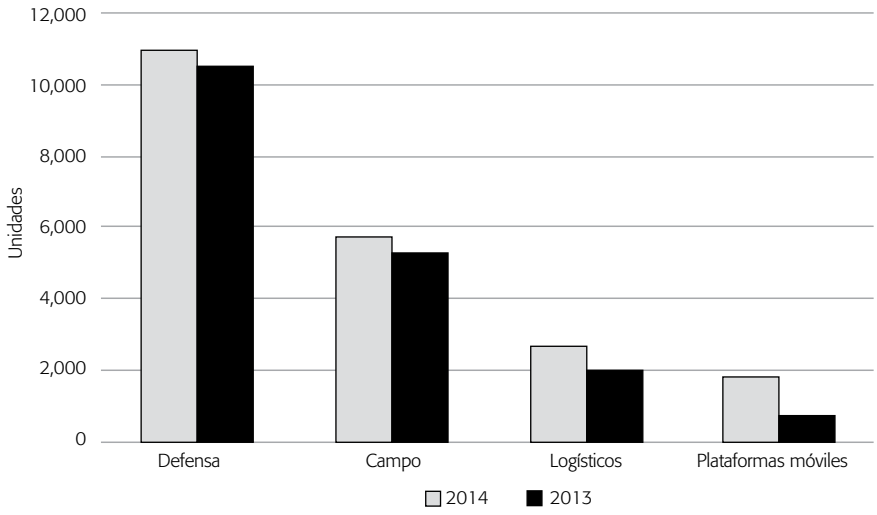
ALGUNAS ESTADÍSTICAS DE VENTA DE ROBOTS DE SERVICIO

Hasta 2007, el volumen estimado de venta de robots de servicios ascendía a unos 5,5 millones (49.000 para uso profesional, unos 3.4 millones para uso doméstico y unos 2 millones para entretenimiento personal), durante el periodo comprendido entre 2008 y 2011 las ventas ascendían a unos 54.000 robots de servicio de uso profesional, 7.5 millones de robots para uso personal y unos 4.6 millones para entretenimiento.

En 2014, se vendieron unos 4.7 millones de robots para uso personal y doméstico, lo cual representó un 28% de aumento con respecto al 2013. Las cifras de venta crecieron a unos 2.2 billones de dólares.

13. Humberto.indd 283 12/17/19 16:43

Gráfica 1
Robots de servicio para uso profesional. Unidades vendidas en 2013 y 2014 (principales aplicaciones)



Fuente: Tomada y adecuada de [13].

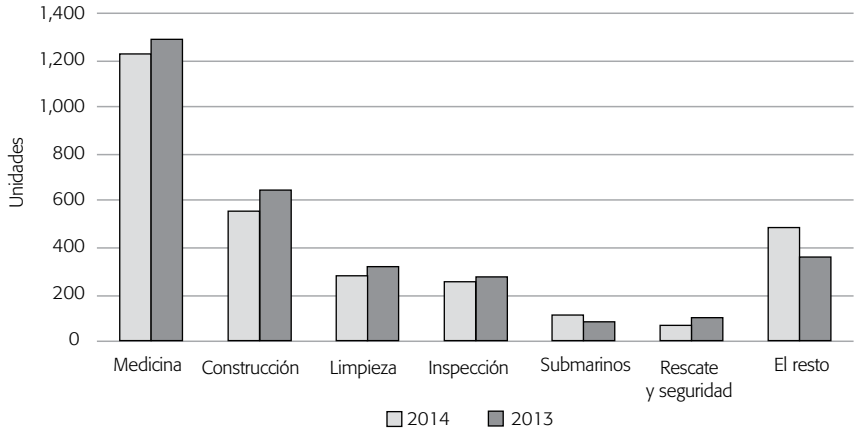
La robótica de servicio ha experimentado un crecimiento anual global en torno al 11,5%; se estima un crecimiento anual de más del 20%. En estos últimos años, algunas áreas ya han demostrado un crecimiento, por ejemplo, de un 150% en el caso de plataformas móviles y un 650% para el caso de robots asistenciales [12].

De acuerdo a [12], con respecto a la fabricación de robots industriales, los países más productores son Japón, con gigantes como Fanuc, Yaskawa – Motoman, Kawasaki y OTC Daihen y Europa con empresas como ABB, Kuka y Universal Robots. Estado Unidos, ocupa el tercer lugar con Adept como una sus compañías más importantes.

Con relación a la robótica de servicios, la situación es la opuesta, Estados Unidos es uno de los países que va dictando claramente el camino. No se dedican en demasía a la construcción de robots humanoides, sino más bien a la fabricación de robots de uso específico. Para esto grupos de industriales, en torno a instituciones académicas como el MIT, Stanford y Carnegie Mellon; de estas instituciones han surgido muchas empresas de nueva creación. De hecho, análisis del IFR revelan que, de todas las empresas dedicadas a la robótica de servicios en la actualidad, más del 15% son de nueva creación [12].

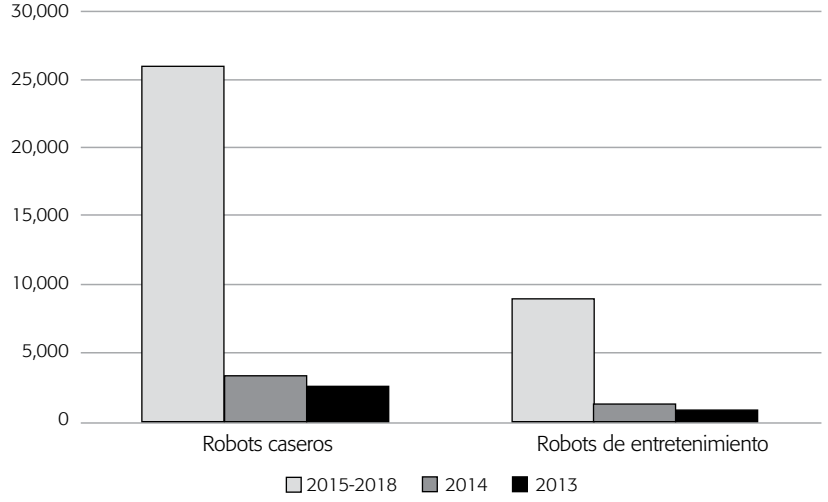
13. Humberto.indd 284 12/17/19 16:43

Gráfica 2
Robots de servicio para uso profesional. Unidades vendidas en 2013 y 2014 (continuación)



Fuente: Tomada y adecuada de [13]

Gráfica 3
Robots de servicio para uso personal/doméstico. Predicciones de ventas en unidades para el periodo comprendido entre el 2015 y el 2018 con respecto al 2013 y 2014



Fuente: Tomada y adecuada de [13]

13. Humberto.indd 285 12/17/19 16:43

Se estima que para 2018 se estarán vendiendo unos 35 millones de robots, entre robots limpiadores, cargadores, entretenimiento solaz y para la asistencia de ancianos. Las ventas ascenderán a unos 12 billones de dólares para el caso de robots para hogar y unos 7.6 billones de dólares para el caso de robots de entretenimiento [13].

En las gráficas 1 y 2 se muestra las unidades vendidas de robots de servicios por aplicación principal durante 2013 y 2014, mientras que en la gráfica 3 se muestran las predicciones de ventas para el periodo comprendido entre el 2015 y el 2018 con respecto a las logradas en 2013-2014 [13].

Otro de los gigantes que está incidiendo fuertemente en la fabricación de robots de servicio es China con robots domésticos de limpieza, los scooter, de dos ruedas que permiten que un ser humano se equilibre y diversos tipos de drones. Ya están también produciendo diversos tipos de robots de rescate, para la seguridad pública y el mantenimiento de reactores de fisión nuclear. Robots para asistir en intervenciones médicas se encuentran apenas en pruebas [14].

En un reciente artículo en la sección de Ciencia y Salud del periódico el Universal, se declara que los robots de servicio son uno de los nichos con mayores apuestas para los próximos años [15].

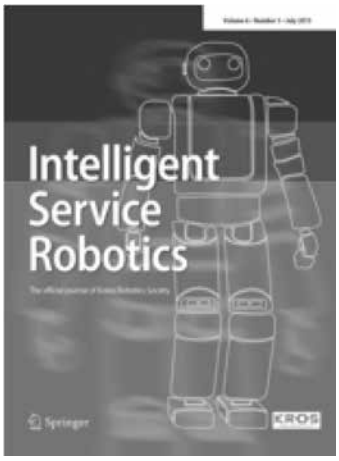
FOROS DEDICADOS A LA DIVULGACIÓN DE INVESTIGACIONES EN ROBÓTICA DE SERVICIO

Tan importante es la investigación en Robótica de Servicio que casas editoriales tan prestigiosas como Springer Verlag dedican una revista completa a la publicación de trabajos orientados en esta dirección, se trata de la revista: Robots de Servicio Inteligentes (Intelligent Service Robots) (Figura 4) [13]. Esta revista: 1) publica nuevos descubrimientos y nuevas tecnologías que hacen avanzar la aplicación de la robótica en la asistencia a seres humanos, 2) Dedica una atención especial a la integración de la robótica con las tecnologías de la información y ciencias cognitivas, y 3) toca un rango muy amplio de temas, que van desde robots inteligentes que sirven a los seres humanos en la vida diaria a sistemas embebidos.

Otros foros dedicados a la difusión de trabajos investigativos en esta área de la Robótica de Servicio son, por ejemplo, la Conferencia en Robótica de Campo y de Servicio (Field and Service Robots Conference). En 2015, esta conferencia se organizó del 24 al 26 de junio de 2015 en Toronto Canadá [17]. La onceava edición de esta conferencia se llevó a cabo en Zúrich, Suiza del 12 al 15 de agosto de 2017 [18]. La 12va edición se llevará a cabo del 29 al 31 de agosto de 2019 en Tokio, Japón.

13. Humberto.indd 286 12/17/19 16:43

Figura 4
Portada de la revista Robots de Servicio Inteligentes, dedicada a la publicación de trabajos de investigación en Robótica de servicio.



Un listado bastante completo de otras conferencias en temas relacionados con la Robótica de Servicio puede encontrarse en [19].

Por otro lado, un listado completo de compañías dedicadas a la fabricación de diversos tipos de robots de servicios puede ser encontrado en [20].

INSTITUCIONES MEXICANAS QUE DESARROLLAN ROBÓTICA DE SERVICIO

Instituciones que en nuestro país están trabajando fuertemente en investigación en Robótica de Servicio son, por ejemplo, el INAOE, la UNAM, el TEC de Monterrey, el ITAM, el CIMAT, la Universidad Anáhuac México Sur, entre otras.

Los principales prototipos de robots de servicio desarrollados en la UNAM son Golem 1, 2 y 2+ y Golem Universum [21] y [22], y Justina [23], mientras que los principales desarrollos en esta dirección en el INAOE son Markovito y Sabina [24]. Otros grupos en nuestro país que están fuertemente trabajando en esta dirección son los grupos de Robótica Móvil y Visión Artificial del UAEP, con su robot Nanisha [25], así como los grupos de la Universidad Veracruzana [26] y la Universidad Politécnica de Ciudad Victoria [27].

13. Humberto.indd 287 12/17/19 16:43

IV. ROBÓTICA ESPACIAL

ROBÓTICA ESPACIAL

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

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

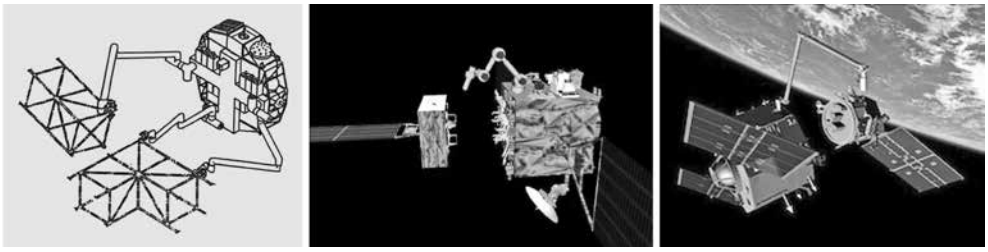
Dos grandes áreas de desarrollo de la robótica espacial incluyen la robótica orbital y la robótica de exploración [28]. Cada una de estas dos áreas es brevemente explicada a continuación. Se hace referencia a algunos de los robots que en su momento han marcado la pauta en investigación y desarrollo en estas dos áreas.

ROBÓTICA ORBITAL

La robótica orbital se encarga del diseño, construcción puesta en operación de robots que ejecutarán misiones alrededor de la Tierra. Destacan los robots voladores de ensamble. El desarrollo de este tipo de máquinas ha sido abordado desde los 80´s, ver, por ejemplo, [29], [30] y [31]. Entre los escenarios contemplados para el uso de este tipo de robots está, por ejemplo, el de la construcción de estaciones espaciales. Debido a la dificultad para llevar a cabo este tipo de tareas en forma autónoma, la cooperación entre seres humanos y sistemas remotos para la manipulación de lanzaderas (Canadarm) o sistemas remotos para la manipulación de estaciones espaciales (Canadarm 2) se ha venido produciendo en los últimos años. Otras aplicaciones de este tipo de robots son el reemplazo de componentes, el repostaje de combustibles, la reparación, el rescate y el re-orbitado de satélites, por mencionar algunas. [28]. Ejemplos de este tipo de robots se muestran en las Figuras 5(a), 5(b) y 5(c).

13. Humberto.indd 288 12/17/19 16:43

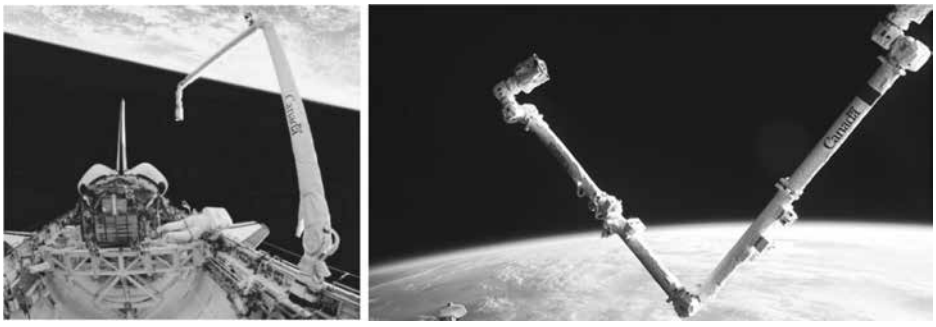
Figura 5
Ejemplos de robots espaciales para el ensamble de estructuras



(a) (b) (c)

(a) Servidor tele-robótico diseñado por la NASA [29]-[31]. (b) Satélite Japonés para pruebas ingenieriles lanzado por NASDA (JAXA). (c) Vehículo especial autónomo (ASTRO) para operaciones robóticas de transporte propuesto por DARPA [32].

Figura 6
Brazo robótico Canadarm diseñado con tecnología canadiense



Fuente: Tomadas de [33] y [34], respectivamente.

Los brazos robóticos Canadarm (Figura 6) fueron una serie de artefactos utilizados junto con los orbitadores "nave espacial" para desplegar, maniobrar y para la captura de cargas. Después del famoso desastre de la nave Columbia, el Canadarm fue siempre apareado con el sistema de captación del orbitador.

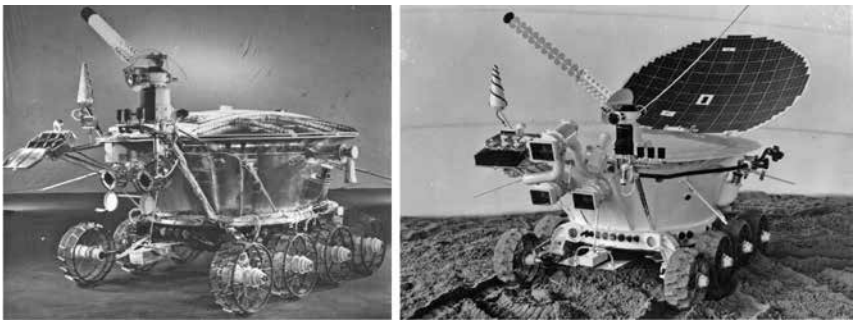
ROBÓTICA PLANETARIA

La robótica planetaria se ocupa del diseño y fabricación de robots para la exploración de cuerpos celestes, como la Luna y otros satélites y, por supuesto planetas.

13. Humberto.indd 289 12/17/19 16:43

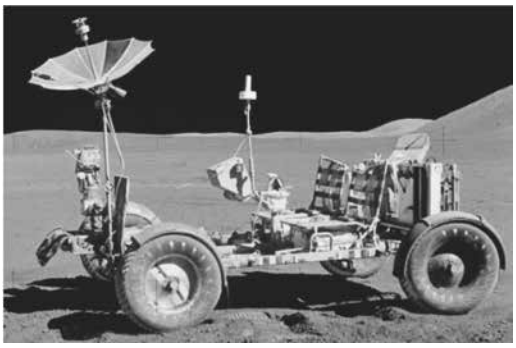
Los primeros robots de este tipo lanzados sobre la superficie lunar los encabezan los modelos Lunokhod 1 y 2 (1970 y 1973, respectivamente) de tecnología rusa (Figura 7). Estos robots fueron tele-operados desde la tierra sobre la superficie lunar para recorrer distancias de varias decenas de kilómetros. El primer robot de este tipo fabricado con tecnología estadounidense es el vehículo lunar errante (VLE) que fue usado en las misiones Apolo en el periodo de 1971 a 1972 (Figura 8).

Figura 7
Robots de exploración de manufactura rasa Lunokhod 1 y 2



Fuente: Tomadas de [35] y [36], respectivamente.

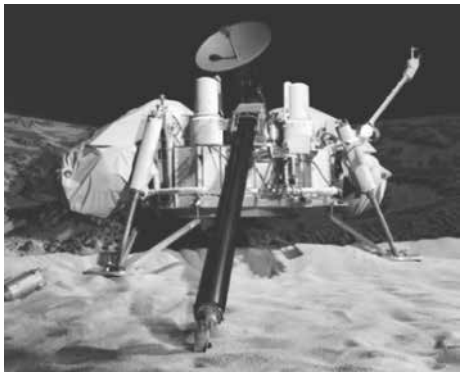
Figura 8
Robot de exploración de manufactura americana: Vehículo Lunar Errante (VLE)



Fuente: Tomada de [37].

13. Humberto.indd 290 12/17/19 16:43

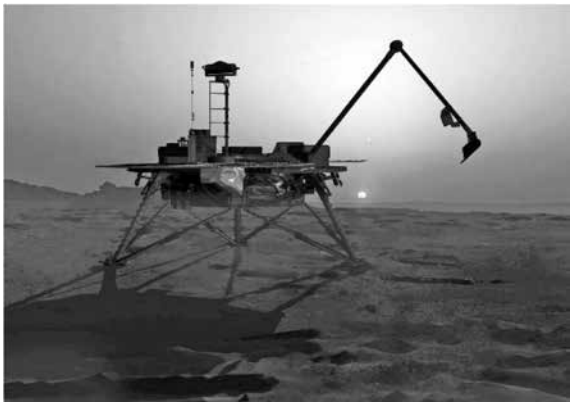
Figura 9
Robots exploradores estáticos Vikingo 1 y 2 de manufactura americana



Fuente: Tomada de [38].

Los dos primeros robots exploradores lanzados sobre la superficie marciana fueron los Vikingo 1 y 2 en 1975-1976 (Figura 9). Aunque estos robots permanecían en un solo lugar, una vez depositados por el transportador correspondiente, venían provistos de un brazo robótico para la recolección de muestras de la superficie y llevar a cabo análisis en el lugar. Otro esfuerzo en esa dirección lo constituyó el robot Phoenix de la NASA (Figura 10); logró un exitoso aterrizaje sobre el ártico marciano. Este robot, venía equipado con un robot manipulador de cuatro grados de libertad de 2.4 metros de extensión, era capaz de realizar tareas con destreza como excavación, raspado y adquisición de muestras [33].

Figura 10
Robot de exploración Phoenix [39]

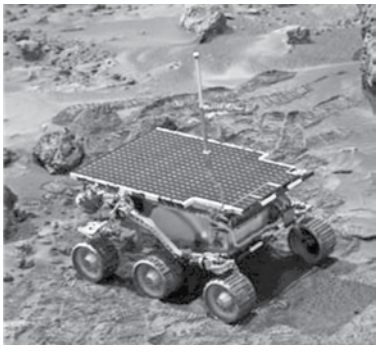


Fuente: Tomada de [40].

13. Humberto.indd 291 12/17/19 16:43

Uno de los logros más exitosos del lado de los robots de exploración móviles comienza en 1997 con el robot de exploración Sejourner como parte de la misión Pathfinder (Figura 11). Este robot venía equipado, entre otras cosas, con un Espectómetro de rayos X Alfa Protón el cual era usado para analizar los componentes de rocas en el suelo. El robot venía también equipado con dos cámaras blanco y negro y una cámara a color. Con estos instrumentos se podía investigar la geología del suelo marciano a distancias que iban de unos cuantos milímetros a varios cientos de metros; se podía también estudiar la historia de dichas rocas, las propiedades magnéticas y mecánicas de la tierra y del polvo, la atmósfera así como la dinámica rotacional y orbital del planeta. Las dos cámaras B/N y la cámara a color eran usadas también para la navegación, facilitando la adquisición y procesamiento estereoscópico de imágenes. Combinadas con cinco proyectores láser de franja, facilitaban la detección de situaciones de peligro en el camino del robot.

Figura 11
Robot de exploración móvil Sejourner



Fuente: Tomada de [41].

Figura 12
Robots de exploración móvil Spirit y Opportunity de la misión MER de la NASA

Fuente: Tomada de [42]

13. Humberto.indd 292 12/17/19 16:43

Después de la misión Pathfinder, durante el periodo comprendido entre 2004 y 2009, vino la misión de Exploración de Marte Rover (MER), con los robots Spirit (Rover de exploración marciana – A o MER-2) y Oportunity (Rover de exploración marciana – B o MER 1) (Figura 12). Ambos robots fueron diseñados con el objetivo de: 1) buscar y caracterizar rocas y suelos claves para determinar la actividad pasada del agua en Marte, 2) determinar la distribución y composición de minerales, rocas o suelos alrededor de los lugares de aterrizaje, 3) determinar qué procesos geológicos habían dado forma al terreno local e influenciado su química, 4) llevar a cabo calibraciones y validaciones de las observaciones hechas por los instrumentos de los orbitadores de reconocimiento marcianos lanzados con anterioridad, 5) buscar minerales ricos en hierro, identificar y cuantificar las cantidades de minerales específicos que contienen agua o que fueron formados por agua, 6) caracterizar la mineralogía y texturas de las rocas y suelos y determinar los procesos que dieron lugar a ellos, 7) buscar claves geológicas acerca de las condiciones ambientales cuando hubo agua en Marte, y 8) dilucidar, in en un momento dado, dichos ambientes dieron pie a vida.

Figura 13
Laboratorio de exploración marciana Curiosity

Fuente: Tomada de [43].

El último de los Rovers lanzados al planeta rojo fue el Curiosity, el cual forma parte de la misión de laboratorios científicos sobre Marte (MSL). Fue lanzado al espacio de Cabo Cañaveral en noviembre 26 de 2011 y aterrizó sobre la superficie marciana el 6 de agosto de 2012. Las metas de este Rover incluyen: 1) investigaciones sobre el clima y geología del planeta rojo, y 2) la evaluación de si el lugar seleccionado para el aterrizaje (Cráter Gale) alguna vez ofreció condiciones ambientales favorables para la vida microscópica. Incluye también el poder llevar a cobo estudios sobre el agua, así como la habitabilidad de seres humanos sobre la superficie marciana.

13. Humberto.indd 293 12/17/19 16:43

FOROS DEDICADOS A LA DIVULGACIÓN DE INVESTIGACIONES EN ROBÓTICA ESPACIAL

Un buen trabajo que relaciona a la Inteligencia Artificial y la Robótica, publicado por la NASA se puede encontrar en [44].

Dos panoramas de lo que en robótica espacial se ha venido haciendo a partir de los 90 se pueden encontrar en [45] y [46].

Un buen reporte sobre robots autónomos para el espacio y cómo estos pueden ser usados para la exploración del espacio, la movilidad adaptable a los terrenos y para el trabajo colaborativo puede encontrarse en [47].

En el conjunto de tres trabajos reportados en [48], [49] y [50], los autores: 1) introducen los conceptos básicos de ingeniería espacial y cómo estos pueden ser usados en el diseño conceptual de aeronaves espaciales, 2) hablan de cómo los manipuladores espaciales pueden ser aplicados en servicios en órbita alrededor de la Tierra, y 3) de los vehículos tipo Rover y cómo estos pueden ser usados para la exploración de satélites y planetas.

Números especiales en revistas especializadas dedicados a temas relacionados con Robótica Espacial pueden ser encontrados en [51], [52] y [53].

Con el fin de impulsar el desarrollo de robots inteligentes con forma humanoide para desempeñarse en misiones en la superficie marciana, la NASA promueve este año un concurso [54] a desarrollarse alrededor de las conocidas plataformas humanoides Robonauta 2 y 5 (Figura 14). Los modelos Robonauta 2 [55] han sido diseñados para trabajar en ambientes de micro-gravedad, mientras que los modelos 5 [56] para trabajar en la superficie de planetas en colaboración con seres humanos. Una descripción sobre el diseño y funcionales del modelo Robonauta 2 se puede encontrar en [57].

Figura 14
Robot Robonauta

(a) (b)

a) 2 útil para el trabajo en ambiento de micro-gravedad.
b) Robot Robonauta 5 para el trabajo en superficies como la Tierra y Marte.

13. Humberto.indd 294 12/17/19 16:43

V. TEMÁTICAS DE OPORTUNIDAD EN ROBÓTICA INTELIGENTE

Con base en lo visto en las secciones 2 y 3 se podrían plantear dos grandes escenarios para el desarrollo y aplicación de la Robótica de Servicio y la Robótica Espacial en nuestro país.

ROBOTS DE SERVICIO EN LA CIUDAD

Un primer escenario para el desarrollo sostenido de nuestro país consiste en el diseño, fabricación e inserción de todo tipo de robots de servicio que asistan en múltiples tareas a los seres humanos de sino todas, si al menos la mayoría de las ciudades.

Sistemas inteligentes de cómputo (sistemas controladores) conectados a redes de sensores pudieran coordinar: 1) todo el transporte público, 2) el manejo energético en las calles, factorías y demás edificios públicos, 3) controlar: la calidad del medio ambiente, el uso calidad del agua, el manejo de residuos, 4) coadyuvar en la reducción de índices delictivos, etcétera.

Diversos tipos de robots pudieran operar como meseros en restaurantes, recepcionistas en hoteles, guías en museos, cargadores en fábricas, mensajeros, auxiliares de limpieza en casa, ayudantes en hospitales, etcétera.

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

ROBOTS INTELIGENTES EN EL ESPACIO

Es claro que los seres humanos no viviremos por mucho tiempo en este planeta, y esto es válido también para los mexicanos; poco a poco nos estamos acabando nuestro planeta, a menos que hagamos algo al respecto, pronto nos quedaremos sin recursos naturales para mantener estándares altos de vida en la Tierra.

Por otro lado, como mexicanos no debemos conformarnos con el territorio que tenemos. Los recursos naturales en algunas ciudades están llegando a los límites de sostenibilidad necesarios. Pronto, en muchos lugares de nuestro país

13. Humberto.indd 295 12/17/19 16:43

el agua escaseará, el aire se irá contaminando a niveles tales que la vida irá menguando, los minerales necesarios para la construcción de productos necesarios para nuestra vida diaria se van también agotando. Podemos conformarnos con adquirir muchos de estos materiales o productos de otros países. Otra cosa que podemos hacer es entrar a la carrera de la conquista del espacio. Esto, por supuesto, demanda un precio muy alto a pagar. En este sentido nos podemos unir a países con más experiencia en estos temas y podemos establecer consorcios para la investigación, el diseño y fabricación de los robots que nos van a permitir construir estaciones de sobrevivencia en la órbita de la Tierra, robots para la exploración de nuestra Luna y el planeta Marte para, en un futuro cercano, explotar los muchos minerales que seguramente ahí existen, establecer también las colonias donde los futuros mexicanos vivirán. Se deben establecer políticas de Estado que permitan a nuestro país entrar en serio a esta carrera tan necesaria.

Como mexicanos no debemos conformarnos con lo que tenemos, debemos luchar para que la calidad de vida que nosotros, nuestros hijos, los hijos de nuestros hijos, sea la deseada. Para esto, pues, es necesario que entremos en la carrera de la conquista del espacio.

VI. CONCLUSIONES

Vimos que la Robótica de Servicio y la Robótica Espacial son dos áreas de oportunidad para el desarrollo sostenido de nuestro país.

Debemos luchar para que logren establecer políticas de estado para la inserción de robots desarrollados en nuestro país (sistemas y máquinas mecánicas) en nuestras ciudades para la elevación y mantenimiento sostenido de la vida de los mexicanos.

Debemos optar para el establecimiento de ecosistemas de investigación y fabricación de robots con altos desempeños que asistan a los mexicanos en todas aquellas tareas tediosas, rutinarias y peligrosas que nos permitan realizar otras que eleven nuestra calidad de vida.

RECONOCIMIENTOS

Humberto Sossa agradece al Instituto Politécnico Nacional y al CONACYT por el apoyo económico bajo los proyectos 20190007 y 65 (Fronteras de la Ciencia) para llevar a cabo esta investigación. Humberto Sossa agradece también a la Parte del material usado para la redacción de este capítulo fue tomado usado en su momento por autor para su ingreso a la Academia de Ingeniería.

13. Humberto.indd 296 12/17/19 16:43

VII. REFERENCIAS

[1] https://es.wikipedia.org/wiki/R.U.R._%28Robots_Universales_Rossum%29
[2] https://www.google.com.mx/search?q=metropolis+pelicula&client=firefox-b&biw=879&bih=558&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjuh66a_uvMAhUfFVIKHRtTD8YQ_AUIBigB#imgrc=xwPMIBL-cmFqvM%3A
[3] https://www.google.com.mx/search?q=metropolis+pelicula&client=firefox-b&biw=879&bih=558&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjuh66a_uvMAhUfFVIKHRtTD8YQ_AUIBigB#imgdii=oB2VNDyF8Hb42M%3A%3BoB2VNDyF8Hb42M%3A%3B10dPF6Ns3RrnJM%3A&imgrc=oB2VNDyF8Hb42M%3A
[4] https://es.wikipedia.org/wiki/Robótica
[5] https://es.wikipedia.org/wiki/Robot
[6] https://es.wikipedia.org/wiki/Robot_de_servicio
[7] http://www.roboticadeservicios.com/
[8] https://es.wikipedia.org/wiki/Roomba
[9] https://es.wikipedia.org/wiki/IRobot
[10] http://www.irobot.mx/
[11] https://www.google.com.mx/search?q=roomba+robot&client=firefox-b&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiGu7Kk0tnMAhWI5IMKHWLrDGAQ_AUIBygB&biw=1366&bih=657#imgrc=4sUi-_xh6JjVxM%3A
[12] http://blog.cartif.com/robotica-de-servicios-de-la-ficcion-a-la-realidad/
[13] http://www.ifr.org/service-robots/statistics/
[14] http://espanol.china.com/economy/madeinchina/489/20151224/533523.html
[15] http://www.eluniversal.com.mx/articulo/ciencia-y-salud/ciencia/2016/01/18/conciencia-robots-empiezan-la-conquista
[16] http://www.springer.com/engineering/robotics/journal/11370
[17] http://fsr.utias.utoronto.ca/
[18] https://www.fsr.ethz.ch/
[19] http://www.conference-service.com/conferences/automation.html
[20] http://www.roboticsbusinessreview.com/companies/category/service_robots/type
[21] http://golem.iimas.unam.mx/golemii.php?lang=es&sec=robots
[22] http://www.universum.unam.mx/temp/golem.php
[23] http://biorobotics.fi-p.unam.mx/people/57-jesus-savage
[24] http://ccc.inaoep.mx/~markovito/
[25] http://wla.orgfree.com/robotica/index.php?valor=nanisha&idioma=esp&opt=historia
[26] http://www.uv.mx/anmarin/

13. Humberto.indd 297 12/17/19 16:43

[27] https://www.researchgate.net/profile/Hector_Aviles-Arriaga
[28] Yoshida, K. Achievements in Space Robotics: Expanding the Horizons of Service and Exploration. IEEE Robotics & Automation Magazine, December, 2009, Pp. 20-28.
[29] Akin, D. et al., Space applications of automation, robotics and machine intelligence systems (ARAMIS), phase II: Volume 1: Telepresence Technology Base Development. Rep. NASA CR-3734, 1983.
[30] Akin, D. et al., Space applications of automation, robotics and machine intelligence systems (ARAMIS), phase II: Volume 2: Telepresence Project Applications. Rep. NASA CR-3735, 1983.
[31] Akin, D. et al., Space applications of automation, robotics and machine intelligence systems (ARAMIS), phase II: Volume 3: Executive Summary. Rep. NASA CR-3736, 1983.
[32] (2009, June). DARPA home [Online]. Available: http://www.darpa.mil/orbitalexpress/
[33] https://en.wikipedia.org/wiki/Canadarm
[34] https://en.wikipedia.org/wiki/Mobile_Servicing_System
[35] https://www.google.com.mx/search?q=Lunokhod+1&client=firefox-b&biw=973&bih=588&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj65cH4qPPMAhVC64MKHcwtBzAQ_AUIBigB#imgrc=QJRi2SmCgkWIiM%3A
[36] https://www.google.com.mx/search?q=Lunokhod+1&client=firefox-b&biw=973&bih=588&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj65cH4qPPMAhVC64MKHcwtBzAQ_AUIBigB#tbm=isch&q=Lunokhod+2&imgrc=LOR3GapFbAWcvM%3A
[37] https://www.google.com.mx/search?q=Lunokhod+1&client=firefox-b&biw=973&bih=588&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj65cH4qPPMAhVC64MKHcwtBzAQ_AUIBigB#tbm=isch&q=Lunar+Roving+Vehicle&imgrc=3kdfEnxhYSWdEM%3A
[38] https://www.google.com.mx/search?q=Lunokhod+1&client=firefox-b&biw=973&bih=588&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj65cH4qPPMAhVC64MKHcwtBzAQ_AUIBigB#tbm=isch&q=viking+1&imgrc=I89ONTi5FeRBpM%3A
[39] https://www.google.com.mx/search?q=Lunokhod+1&client=firefox-b&biw=973&bih=588&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj65cH4qPPMAhVC64MKHcwtBzAQ_AUIBigB#tbm=isch&q=exploration+robot+phoenix&imgrc=JAZDM6pIxkQKOM%3A
[40] Bonitz, R., The Phoenix Mars Lander robotic arm, in Proc. 2009 IEEE Aerospace Conf., Mar. 2009, pp. 1–12.
[41] https://www.google.com.mx/search?q=Lunokhod+1&client=firefox-b&biw=973&bih=588&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj65cH4qP

13. Humberto.indd 298 12/17/19 16:43

PMAhVC64MKHcwtBzAQ_AUIBigB#tbm=isch&q=exploration+robot+sejourner&imgrc=ahLDGetcmDrbbM%3A
[42] https://www.google.com.mx/search?q=Lunokhod+1&client=firefox-b&biw=973&bih=588&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj65cH4qPPMAhVC64MKHcwtBzAQ_AUIBigB#tbm=isch&q=spirit+and+opportunity+rover&imgrc=wp1hzUEG1Ao3XM%3A
[43] https://www.google.com.mx/search?q=Lunokhod+1&client=firefox-b&biw=973&bih=588&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj65cH4qPPMAhVC64MKHcwtBzAQ_AUIBigB#tbm=isch&q=curiosity+rover&imgrc=WrshzELODxk3oM%3A
[44] Machine Intelligence and Robotics: Report of the NASA Study Group. FINAL REPORT. March 1980. http://www.rr.cs.cmu.edu/NASA%20Sagan%20Report.pdf
[45] Wilcox, B. et al., Space Robotics. Chapter 3. http://www.wtec.org/robotics/report/03-Space.pdf
[46] Pedersen, L., A Survey of Space Robotics. Marzo de 2003. https://www.cs.cmu.edu/~illah/PAPERS/ISAIRAS03.pdf
[47] Schenker, P. S. et al., Robotic automation for space: planetary surface exploration, terrain-adaptive mobility, and multi-robot cooperative tasks. http://robots.mit.edu/people/Karl/Spie4572.pdf
[48] Ellery, A., Space Robotics Part 1: What is a Robotic Spacecraft? http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/4089.pdf
[49] Ellery, A., Space Robotics Part 2: Space-based Manipulators. https://arxiv.org/ftp/cs/papers/0411/0411024.pdf
[50] Ellery, A., Space Robotics Part 3: Robotic Rovers for Planetary Exploration. http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/4111.pdf
[51] Special Issue: Special Issue on Space Robotics, Part 1. Journal of Field Robotics. Editors: Michel Van Winnendael, David Wettergreen. Volume 30, Issue 6, Pp. 833–950. November/December 2013. http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/rob.2013.30.issue-6/issuetoc
[52] Putz, P., Space robotics in Europe: A survey. Robotics and Autonomous Systems, 23(1-2):3-16, 1998. http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921889097000535
[53] Yoshida, K. (Issue Editors), Special issue on Space Robotics, Intelligent Service Robotics, 4(1), January 2011. http://link.springer.com/journal/11370/4/1/page/1
[54] NASA Space Robotics Challenge. http://src.neu.edu/
[55] Robonauta 2. https://www.google.com.mx/search?q=robonaut+2&client=firefox-b&biw=1006&bih=588&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=

13. Humberto.indd 299 12/17/19 16:43

0ahUKEwiNt_PX9_PMAhVUU1IKHbTIDr0Q_AUIBigB#imgrc=ZzYGJKr3EtDYNM%3A
[56] Robonauta 5. https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/fs_space_robotics_150908.pdf
[57] Ambrose, R. et al., Robonaut: NASA's Space Humanoid. IEEE Intelligent Systems Pp. 57-62, Julio-Agosto de 1992.

13. Humberto.indd 300 12/17/19 16:43

Los avances de la robótica médica en México

Juan Manuel Ibarra Zannatha*

SUMARIO

I. Introducción II. ¿Qué es la robótica médica? III. Cirugía asistida por computadora IV. Robots cirujanos, de asistencia y de rehabilitación V. Tecnologías de robótica y de visión artificial usadas en robótica médica VI. La robótica médica en México VII.Comentarios finales VIII. Referencias y bibliografía

I. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es el de presentar el estado actual de la Robótica Médica en México, describiendo su historia de manera sucinta y analizando cuáles podrían ser los escenarios a futuro en esta importante área del conocimiento. Para comprender mejor lo que significa la Robótica Médica en la primera Sección se hace una descripción de lo que entendemos por Robótica y se intenta ubicar a la Robótica Médica dentro de este marco de referencia. En la segunda Sección se hace énfasis en el paradigma CAS (Cirugía asistida por Computadora), lo que es tal vez la contribución más importante de la Robótica en el sector Médico. A continuación, en la Tercera Sección se hace una descripción de las tres principales aplicaciones médicas de los robots: robots cirujanos, de rehabilitación y de asistencia. La Cuarta Sección se dedica a la presentación de las tecnologías tanto de Robótica como de Visión Artificial que intervienen en la creación de todas estas aplicaciones a la Medicina. Finalmente, en la Quinta Sección se hace una breve recapitulación de lo que ha sido la Robótica Médica en México, mientras que en la Sexta Sección se hace un breve análisis de la situación actual y de los posibles escenarios a futuro.

* Laboratorio de Robótica y Visión Artificial. Departamento de Control Automático. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional.

14. Manuel.indd 301 12/17/19 16:43

II. ¿QUÉ ES LA ROBÓTICA MÉDICA?

La Robótica se encarga de la creación de máquinas automáticas y aún autónomas que emulan una buena parte de las capacidades y del comportamiento humano. La morfología de estas máquinas va desde los brazos mecánicos industriales, pioneros en esta área, hasta los robots humanoides autónomos, pasando por robots que nadan, que bucean, que vuelan, reptan, ruedan o caminan. Para lograrlo, la Robótica reúne diversas tecnologías, como la Mecánica, la Electrónica y la Computación entre otras, con aspectos teóricos físico-matemáticos como el modelado cinemático y dinámico de mecanismos o el control automático de éstos, así como de la inteligencia artificial incluyendo aspectos de percepción visual, táctil o auditiva, resolución heurística de problemas y aprendizaje.

A inicios de la segunda mitad del S. XX aparece el primer brazo robótico, época que estuvo dominada por lo que denominamos Robótica Industrial, caracterizada por robots manipuladores (equipados con pinzas) o de proceso (equipados con herramental) fijos en su puesto de trabajo y con muy pocas capacidades de percepción y, por tanto, nula capacidad de autonomía. En este contexto Autonomía debe entenderse como capacidad de análisis de la situación y la consecuente toma de decisiones necesaria para llegar al resultado esperado en el desarrollo de la tarea a realizar. Por su parte, el S. XXI está caracterizado por lo que se suele llamar Robótica de Servicios, en donde el robot está dotado de una gran movilidad, de grandes capacidades de percepción y donde su sistema de control le permite tomar decisiones y tener así diversos niveles de autonomía. Esto viene acompañado de sistemas de comunicación humano robot con grandes prestaciones, así como de altos niveles de seguridad pues los robots de servicio conviven de manera cercana con el ser humano (Okamura, Hata, Burdet, 2016).

Los robots de servicio se encuentran trabajando en una gran cantidad de aplicaciones que continúa creciendo a tasas mucho mayores que las del crecimiento de la economía o de la población. Así, una de las áreas en las que la Robótica de Servicios está teniendo un impacto considerable es en el Sector Médico, aportando robots de diversos tipos fundamentalmente para tres importantes aplicaciones: intervención quirúrgica, Rehabilitación y Asistencia. Pero, antes de presentar estas aplicaciones tratemos de responder la pregunta que da título a esta Sección. La Robótica Médica no consiste tan solo en la creación de un robot con alguna aplicación en el ámbito médico, pues se trata de una vasta e interesante área de investigación y desarrollo tecnológico que pretende la utilización de las herramientas de la Robótica en la mejora e innovación de los procesos médicos. Así, la Robótica puede intervenir de manera decisiva en la mejora de las técnicas en varios de los aspectos más importantes del proceso médico como son el diagnóstico, la planeación preoperatoria, la intervención quirúrgica, el proceso

14. Manuel.indd 302 12/17/19 16:43

postoperatorio, la rehabilitación y la asistencia. En este sentido, la introducción de la Robótica en el ámbito médico está en uno de los ejes fundamentales del paradigma CAS (*Computer-Assisted Surgery* o *Computed Aided Surgery*).

III. CIRUGÍA ASISTIDA POR COMPUTADORA

La Cirugía Asistida por Computadora o CAS es un paradigma quirúrgico de reciente creación, pero ampliamente difundido en todo el mundo que representa un nuevo concepto y un conjunto de métodos que utilizan tecnologías computacionales y robóticas en todas las fases del proceso quirúrgico, a saber: *i*) diagnóstico, *ii*) planeación quirúrgica*, iii*) proceso operatorio o fase intraoperatoria, y *iv*) fase postoperatoria. Cabe mencionar que, al proceso operatorio en el contexto CAS, también se le denomina cirugía guiada por imágenes o navegación quirúrgica, debido a la integración de varias tecnologías computarizadas de visión y robóticas en el quirófano. El hilo conductor a través de estas cuatro fases del proceso quirúrgico del paradigma CAS es la elaboración de modelos tridimensionales (3D) del paciente con una gran precisión utilizando modernas técnicas de imagenología médica. A continuación, se presentan someramente las fases involucradas en el paradigma CAS (Consorcio OpenSurg, 2013).

DIAGNÓSTICO

En la fase de diagnóstico la región anatómica de interés se escanea mediante técnicas de imagenología médica como los Rayos X, los ultrasonidos, la Tomografía Axial Computarizada (TAC), la Resonancia Magnética (RM), la Resonancia Magnética Funcional (RMf), o la Tomografía por Emisión de Positrones (PET), entre otras técnicas más y, mediante técnicas computacionales y algoritmos de procesamiento y análisis de imágenes, se crean modelos 3D que integran información proveniente de diferentes bases de datos y de la exploración clínica hecha por los médicos tratantes. De esta manera se obtienen modelos geométricos muy precisos que reproducen la situación geométrica de los tejidos del paciente, tanto los normales como los patológicos, así como las estructuras de la región anatómica de interés. La información geométrica generalmente se obtiene mediante TAC pues genera modelos con mayor precisión y sin las deformaciones volumétricas que genera la MR, la cual se utiliza más para efectos de diagnósticos clínicos, lo mismo que la PET.

Los datos generados mediante imagenología a menudo incorporan ciertas marcas, denominadas *fiduciales*, ubicadas en distintas partes de la zona anatómica de interés del paciente, las cuales son de utilidad para alinear los modelos 3D virtuales con las imágenes reales del paciente tomadas en línea durante el pro-

14. Manuel.indd 303 12/17/19 16:43

ceso operatorio y poder así realizar la navegación quirúrgica o cirugía guiada por imágenes. Al conjunto de técnicas utilizadas para alinear imágenes de una misma zona anatómica generadas en distintos momentos o desde diferentes puntos de vista o aún con distintas técnicas se le conoce como Registro de Imágenes (*Image Registration* o *Patient Registration*) y representa toda una especialidad en el procesamiento y análisis de imágenes. Así, el empleo de modelos 3D y de estas técnicas de imagenología le permite al cirujano generar cualquier vista de la zona de interés a fin de precisar aún mejor su diagnóstico.

En la fase de diagnóstico, el análisis computacional de las imágenes médicas, por ejemplo, las provenientes de la TAC, permiten poner de manifiesto sólo una cierta parte de los tejidos o de las estructuras para analizar su comportamiento o su geometría. Así, es posible segmentar las imágenes 3D para visualizar ciertos tejidos blandos o bien estructuras óseas de interés o aún monitorear el flujo sanguíneo en ciertos vasos del músculo cardiaco o de cerebro. En efecto, la cantidad de información que tiene el conjunto de datos de una TAC es más que suficiente para obtener el nivel de detalle en muchas de estas aplicaciones. Por ejemplo, 180 "rebanadas" de 512´512 pixeles de una TAC, con 1mm de separación entre ellas, representan decenas de millones de pixeles, con lo cual se pueden segmentar prácticamente las regiones de interés por muy pequeñas que estas sean, como el caso de los vasos sanguíneos.

PLANEACIÓN PREOPERATORIA

En esta fase la imagenología permite al cirujano decidir la mejor práctica quirúrgica posible a aplicar en el proceso operatorio. En efecto, utilizando la algorítmica especializada de procesamiento y análisis de imágenes es posible manipular los modelos 3D virtuales para que el cirujano tenga vistas desde cualquier ángulo o a cualquier profundidad dentro del volumen anatómico de interés para planificar la intervención quirúrgica. Así, mediante una simulación virtual puede analizar cada una de las diferentes opciones a aplicar y elegir la más apropiada al caso tratado, incluyendo la participación de un robot cirujano. De este modo es posible planificar una intervención para, por ejemplo, extirpar un tumor cerebral utilizando la ruta más corta y que, a la vez, evite tocar la menor cantidad de tejido elocuente, es decir, de partes del cerebro fuertemente utilizadas por el paciente. Estas zonas elocuentes se detectan generalmente mediante imágenes RMf. Para ello serán necesarias muchas simulaciones hasta dar con el procedimiento quirúrgico que menos tejidos dañe y que permita el éxito de la cirugía, en este caso la extirpación del tumor. En la fase de planeación preoperatoria, una vez elegida la práctica quirúrgica a aplicar se generan las diferentes trayectorias para el herramental a emplear en cualquiera de los dos casos cirugía manual o robotizada y define las

14. Manuel.indd 304 12/17/19 16:43

tareas de monitoreo visual de la intervención, así como la navegación quirúrgica asociada. En el caso de cirugía robotizada, el sistema CAS, además, genera automáticamente los programas del robot cirujano.

PROCESO OPERATORIO

Ya en la fase fundamental de la cirugía el paciente se fija en la mesa de operaciones de manera estable pero no tan rígida como en las cirugías clásicas y se instalan los fiduciales en el cuerpo del paciente que permiten al sistema de cirugía guiada por imágenes detectar los puntos sustantivos de su anatomía necesarios para el Registro de Imágenes sobre el que se basa dicho sistema de navegación quirúrgica. Cabe mencionar que el instrumental empleado en la cirugía, ya sea manual o robotizada, también cuenta con marcas especiales que son detectadas y seguidas por el sistema de navegación.

Con la cirugía previamente planificada el CAS genera una base de datos con todas y cada una de las operaciones elementales que debe realizar el cirujano, o bien el robot, que puede desplegarse como un modelo virtual tridimensional del paciente sobre el cual se agregan las trayectorias que han sido calculadas para cada uno de los instrumentos a utilizar. Por su parte, el sistema de navegación hace tanto la captura de la anatomía del paciente a fin de compararla con los modelos desarrollados en la fase de diagnóstico, así como el seguimiento o *tracking* de los movimientos del cirujano, mejor dicho, del instrumental utilizado por este especialista. Con esta información y, haciendo el Registro de Imágenes correspondiente, el CAS está en medida de hacer el monitoreo y guía visual de la intervención quirúrgica, cuando está hecha de manera manual o bien recalculando las trayectorias del robot definidas en la fase de planeación preoperatoria. La retroalimentación que produce el sistema de *tracking* de los instrumentos proporciona una retroalimentación visual sobre los monitores, la cual es muy útil para el cirujano, sobre todo en casos en los que no hay línea de vista entre el cirujano y dichos instrumentos, como es el caso en cirugías mínimamente invasivas como las laparoscopias.

FASE POSTOPERATORIA

Con la gran cantidad de datos que se generan en las fases previas (Diagnóstico, Planeación e Intervención quirúrgica) es posible crear grandes bases de datos (BdD) que permiten, por un lado, hacer el seguimiento objetivo de la evolución del paciente y, por otro lado, hacer un análisis de los procesos empleados a fin de mejorarlos. Gracias a la planeación y al uso de técnicas quirúrgicas mínima-

14. Manuel.indd 305 12/17/19 16:43

mente invasivas el CAS permite, además, una minimización de los tiempos de recuperación del paciente.

IV. ROBOTS CIRUJANOS, DE ASISTENCIA Y DE REHABILITACIÓN

CIRUGÍA ROBÓTICA

Dentro de la fase operatoria en los sistemas CAS es cada vez más común la presencia de los robots cirujanos. Estos dispositivos llevan a cabo tareas muy variadas que van de la simple restricción de los movimientos del cirujano, hasta la realización propiamente dicha de la intervención quirúrgica a través de movimientos autónomos. En el primer caso el robot impediría movimientos fuera de un cierto espacio de trabajo previamente delimitado por el cirujano para evitar que sean dañados tejidos adyacentes a la zona por intervenir; también podría encargarse de filtrar tremores u otros movimientos involuntarios de las manos del cirujano y aun para compensar movimientos propios del paciente (respiración o movimientos peristálticos). En todos estos casos se tienen dos alternativas el guiado directo del robot o bien la teleoperación. En los casos en que el robot se convierte en cirujano es porque la intervención ha sido previamente determinada por el cirujano en la fase preoperartoria. A continuación, se mencionan algunos ejemplos de cirugías robóticas que ya son rutinarias.

- Neurocirugía asistida por Computadora en donde un robot telemanipulado realiza microcirugías compensando los tremores propios de la mano del cirujano, incrementando precisión y exactitud de la intervención quirúrgica y ayudando a preservar zonas elocuentes cercanas a la zona intervenida previamente determinadas mediante Resonancia Magnética Funcional.
- Cirugía ortognática en donde el robot se encarga de hacer cortes precisos en huesos para realizar la corrección de anomalías naturales o fruto de accidentes en cráneo y mandíbulas, reconstrucción de cara y órbitas oculares, cirugía de la articulación temporo-mandibular.
- Implantología que cuenta con sistemas de monitoreo visual y de guiado que son específicos a esta aplicación en donde el espacio de trabajo es muy reducido y, como el cirujano debe mantener la mirada en el campo operatorio, se requiere de retroalimentación audible.
- Cirugía ORL (Otorrinolaringológica) guiada por imagen en el contexto CAS consiste en navegar en un mundo virtual 3D generado con los datos obtenidos mediante TAC que informan sobre la ubicación de regiones anatómicamente importantes a localizar o a evitar tales como el nervio óptico o los senos frontales. Particularmente las cirugías del oído medio requieren del uso

14. Manuel.indd 306 12/17/19 16:43

de robots cirujanos debido a la necesidad de acciones de gran precisión en espacios reducidos.

- Cirugía ortopédica CAOS (*Computer-Assisted Orthopedic Surgery*) El uso de robots ya es muy común en intervenciones rutinarias en Ortopedia como el reemplazo total de cadera o la inserción de tornillos en vertebras. También son muy utilizados para colocar en la posición anatómicamente correcta de fragmentos de hueso desplazados por fracturas. Algunos sistemas comerciales son RoboDoc, HipNav, OrthoPilot, y Praxim.
- Cirugía laparoscópica en cavidad abdominal. Una de las aplicaciones de los robots cirujanos es en la CMI (Cirugía Mínimamente Invasiva) abdominal y ginecológica en intervenciones rutinarias como Colecistectomía o Histerectomía por vía vaginal.
- Se utilizan también en cirugías de corazón (reemplazo de válvula mitral y colocación de marcapasos ventriculares) y en Urología (intervenciones prostáticas, pieloplastía, nefroctomía)

Radiocirugía CAR (*Computer-Assisted Radiosurgery*) Utiliza un brazo manipulador equipado con un acelerador lineal ligero que enfoca su débil rayo sobre un tumor, pero desde diferentes puntos alrededor del paciente a fin de que ese rayo produzca daños solo en el sitio donde convergen todos esos rayos: el tumor. Se auxilia de estructuras esqueléticas como referencias estereotácticas y de un sistema de monitoreo en tiempo real a base de Rayos X que permite el posicionado preciso del acelerador, así como la compensación de movimientos del paciente (respiración, movimientos peristálticos) (Accuray Incorporated, 2017).

ROBÓTICA DE REHABILITACIÓN

Con el envejecimiento paulatino de la población a nivel mundial se están multiplicando los accidentes cerebro-vasculares (ACV). El ACV no es otra cosa que la muerte de una zona de tejido cerebral debido a la falta de irrigación sanguínea en dicha zona, lo que se manifiesta como una parálisis de los miembros que controlaba dicha zona del Sistema Nervioso Central (SNC). Así, los ACVs representan una de las principales causas de discapacidad neuromotora. Afortunadamente, la gran plasticidad del SNC permite crear, mediante un entrenamiento particular, nuevas zonas en la corteza cerebral que se pueden encargar de controlar los miembros afectados de este tipo de parálisis, lo cual está en la base de una diversidad de procedimientos terapéuticos utilizados en la rehabilitación que permiten la recuperación funcional. La rehabilitación típica empleada en estos casos consiste en manipulaciones manuales de las extremidades del paciente ya sea con el paciente en actitud pasiva o bien intentando realizar los movimientos de

14. Manuel.indd 307 12/17/19 16:43

manera voluntaria. Se ha demostrado que este tipo de rehabilitación permite la reorganización de neuronas en la corteza cerebral, lográndose una cierta recuperación funcional motora. Los resultados de la rehabilitación, entendidos como el re-aprendizaje de las habilidades motoras, están en función directa de la cantidad, duración, contenido e intensidad de las sesiones de entrenamiento.

Sin embargo, la aplicación de este tipo de terapias se enfrenta a problemas importantes. La primera es que demanda la intervención de un terapista en tareas intensivas, con riesgo de su propia salud, dedicado a un paciente por largos periodos. Esto representa un costo prohibitivo en la mayoría de los casos, sobre todo en el sistema de salud pública. Así, a lo más que se puede aspirar es a tener tres sesiones semanales de una hora. Estas son tareas altamente demandantes de mano de obra especializada que presenta una excelente justificación al uso de tecnologías de la Robótica. Es así que han venido apareciendo cada vez más alternativas robóticas para apoyo en procesos de rehabilitación para generar terapias eficientes, intensivas y de buena calidad, tanto de extremidades superiores como de las inferiores.

Los dispositivos robóticos especializados en la rehabilitación actualmente disponibles permiten al fisioterapeuta multiplicarse y poder atender simultáneamente a una mayor cantidad de pacientes. Además, la rehabilitación robótica puede ser más intensa, incluir una mayor cantidad de sesiones y que éstas sean de mayor duración, pues ya no es necesario tener a un fisioterapeuta dedicado a un solo paciente. Así, el robot rehabilitador puede tener la capacidad de mejorar los procesos. Además, como el robot posee capacidades sensoriales, motoras y aún cognitivas, puede recuperar información sobre el avance del paciente y así dosificar de manera progresiva las series y repeticiones, así como la intensidad de las rutinas.

TAXONOMÍA DE LOS ROBOTS REHABILITADORES

Actualmente se dispone de una amplia gama de dispositivos robóticos de rehabilitación con arquitecturas diferentes, funciones de rehabilitación variadas y aún robots complementados con tecnologías computacionales de realidad aumentada, lo cual dificulta su clasificación y su estudio. A fin de tener una taxonomía que los contemple a todos de manera consistente es necesario especificar los criterios de clasificación, por lo que a continuación se proponen algunos de estos criterios. Por su arquitectura mecánica los robots de rehabilitación pueden ser exoesqueletos (que tienen una arquitectura mecánica similar a la del miembro por rehabilitar, con la misma cinemática, en donde la posición de cada articulación del miembro queda perfectamente determinada, pues cada articulación del paciente se mueve con un actuador del exoesqueleto cuyos ejes coinciden) o basados en

14. Manuel.indd 308 12/17/19 16:43

efector final (robots que tienen sólo un punto de contacto con el paciente, que suele ser la parte más distal del miembro a rehabilitar con la parte más distal del manipulador, es decir, su efector final; aquí el robot produce, de manera indirecta, movimientos en los diferentes segmentos de la extremidad tratada). Otro criterio utilizado para clasificar a los robots de rehabilitación es el tipo de intervención del robot dentro del proceso, el cual puede ser de tipo terapéutico (cuando su única función es reentrenar la función motora del individuo, como la gran mayoría de los robots médicos dedicados a la rehabilitación motora, todos ellos son dispositivos fijos ubicados dentro de las instalaciones hospitalarias) o bien ortésico (con la capacidad de sustituir la función motora perdida y que forzosamente deben tener una arquitectura tipo exoesqueleto que el individuo puede llevar consigo). Por otro lado, los robots de rehabilitación también se pueden clasificar, desde el punto de vista de la asistencia terapéutica que proporcionan, en cuatro categorías: activos (el robot debe proporcionar toda la fuerza que requieren los movimientos que constituyen la terapia de rehabilitación), pasivos (no poseen actuadores y, por tanto, no pueden aportar ninguna asistencia en los movimientos del paciente), hápticos (interaccionan con el paciente mediante el sentido del tacto y realizan el movimiento siempre y cuando exista la voluntad expresa del paciente de realizarlo, aportando parte de la energía necesaria en proporción inversa a las capacidades del paciente) y supervisores o entrenadores (coaching) , (Maciejasz, Eschweiler , Gerlach-Hahn, Jansen-Troy, Leonhardt, 2014) (Dietz, Nef, Ryme, 2012).

ROBÓTICA ASISTENCIAL

La Robótica Asistencial está dirigida a la población con necesidades especiales cuya principal característica en común es que tienen algún grado de discapacidad. En este contexto se entiende por discapacidad a cualquier impedimento físico o mental que limita de manera sustancial una o más de las actividades más importantes de la vida diaria. Además de las personas que por enfermedad o accidente se encuentran en estas situaciones se incluye a las personas de edad avanzada, cuyas capacidades sensoriales y motoras se han visto disminuidas. En este caso se encuentran pacientes con distrofia muscular, parálisis cerebral, lesión medular y algunos sobrevivientes de eventos cerebro-vasculares. Entre las personas beneficiarias de la robótica asistencial se tiene también a las que han visto menguar algunas de sus facultades cognitivas. La capacidad de movimiento del individuo es esencial para llevar a cabo las actividades de la vida diaria como asearse, vestirse, alimentarse o desplazarse y manipular los objetos de la vida cotidiana; mientras que las capacidades cognitivas, además de contribuir al bienestar del

14. Manuel.indd 309 12/17/19 16:43

individuo, le permiten la inserción familiar y social, así como la comunicación con las demás personas.

El objetivo de las tecnologías robóticas en este contexto es el de mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad, tratando de incrementar su independencia funcional. Uno de los problemas es que la discapacidad está fuertemente individualizada, es decir, que la solución tecnológica para la discapacidad de una cierta persona no funcionará en una persona distinta incluso si su discapacidad es clínicamente similar. Esto hace que los costos de las soluciones robotizadas no puedan beneficiarse de la economía de escala; sin embargo, se prevé que en una década se dé un importante incremento de la población demandante de estas tecnologías aunado al crecimiento de sus ingresos, mientras que se espera que los fabricantes de estos equipamientos generen soluciones de espectro más amplio, todo lo cual impulsará el crecimiento de este mercado y la posibilidad de tener una economía de escala.

Las características propias de estos pacientes, como deficiencias físicas, de comunicación o de habilidades cognitivas, requieren de dispositivos robóticos altamente autónomos. Lo cual se logra mediante buenas capacidades motoras, sistemas sensoriales sofisticados que incluyan visión, audición y tacto y un sistema de control con excelentes capacidades de cómputo y basado en técnicas informáticas como la inteligencia artificial. Además, se requiere un alto nivel de seguridad para que estas máquinas puedan coexistir e interaccionar de manera segura con los pacientes y con el personal médico especializado.

La Robótica Asistencial está dedicada a proveer máquinas robóticas ya sea para mejorar las capacidades de movilidad de personas discapacitadas o de edad avanzadas que les permitan realizar las actividades básicas de la vida diaria, o bien para mejorar la vida psicosocial y familiar de pacientes que requieren alguna ayuda de tipo cognitivo. Así, los robots de asistencia pueden clasificarse en tres grupos de acuerdo con el problema al cual se enfocan: *i*)movilidad, *ii*) manipulación, o *iii*)cognición (Consorcio OpenSurg, 2013).

Robots de Asistencia para la Movilidad. La movilidad es realmente importante en la mejora de la calidad de vida de los pacientes aquí considerados. Los dispositivos robóticos que permiten recuperarla, o más bien paliarla, pueden agruparse en las siguientes categorías: *i*) sillas de ruedas motorizadas, equipadas con sistemas de navegación y con diferentes interfaces de comunicación con la persona que incluyen comandos manuales, la voz o aún interfaces cerebro-computadora; *ii*) caminadores tipo andadera, pasivo o motorizados con diferente nivel de autonomía que proporcionan soporte y estabilidad a personas con movilidad disminuida, previniendo caídas; *iii*) caminadores tipo exoesqueleto, y iv) dispositivos para cambiar la postura de pacientes que carecen completamente de movilidad.

14. Manuel.indd 310 12/17/19 16:43

Robots de Asistencia para la Manipulación. Aquí se engloban los dispositivos robóticos que le permiten a la persona con movilidad reducida o inexistente manipular objetos con fines de alimentación, aseo o cualquiera otra que requiera de las extremidades superiores. Estos dispositivos se clasifican a su vez en dispositivos de plataforma fija y de plataforma portátil. Los primeros suelen estar fijos en la cocina, la mesa de trabajo o en la cama y suelen destinarse a la realización de actividades de aseo, de alimentación o de trabajo, entre otras. Los de plataforma portátil suelen estar solidarios de la silla de ruedas de la persona o bien ser portados directamente por la persona. Algunos de ellos son multifuncionales pues pueden estar fijos en una mesa o solidarios de una silla de ruedas. Algunos ejemplos de estos dispositivos son FRIEND, MUNDUS y ASIBOT. Un importante tipo de robots de asistencia para la manipulación son aquellas órtesis y exoesqueletos desarrollados para anular el temblor de manos ligado a padecimientos como el Parkinson. Un ejemplo de estos dispositivos es el sistema desarrollado para suprimir temblores del brazo DRIFTS (Dynamically Responsive Intervention For Tremor Suppression) y la órtesis WOTAS, (Wearable Orthosis for Tremor Assessment and Suppression) ambos desarrollados en el IAI-CSIC (España).

Robots para la Asistencia Cognitiva. Existen, además, robots de asistencia que apoyan a personas que padecen trastornos mentales como demencia, autismo o algún otro desorden que afecte la comunicación o el bienestar físico, tanto en niños como en adultos mayores. Así, los dispositivos robóticos destinados a la asistencia cognitiva se clasifican en dos grupos: robots de ayuda a la comunicación como los robots mascota y los robots cuidadores o vigilantes autónomos. Así, las herramientas robóticas también se han aplicado para apoyar el enriquecimiento psicológico de los ancianos o de niños autistas y con otros síndromes psicológicos. Estos robots de asistencia social tienen como misión asistir a las personas a través de la interacción social, enfocándose a asistencia mediante el contacto con una especie de mascota robótica. Dos ejemplos de estos robots son HUG ROBOT (Carnegie Mellon, EUA) y PARO (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology. Tsukuba, Japón). Por su parte, los robots cuidadores son básicamente robots móviles capaces de desplazarse a fin de llevar medicamentos, alimentos o cualquier otro objeto necesario para la vida cotidiana de un paciente inmovilizado. Además, estos robots pueden proveer medios de comunicación visual y auditiva de telepresencia, para asegurar la comunicación con sus parientes o con el personal médico y aún hacer la supervisión de algunos signos vitales.

14. Manuel.indd 311 12/17/19 16:43

V. TECNOLOGÍAS DE ROBÓTICA Y DE VISIÓN ARTIFICIAL USADAS EN ROBÓTICA MÉDICA

La contribución más evidente de la Robótica y la Visión Artificial al paradigma CAS y en particular a lo que se denomina Robótica Médica es el uso de brazos robóticos y de sistemas de *tracking* visual. Sin embargo, desarrollar un proyecto que culmine con la introducción de un robot en el quirófano, ya sea como asistente del cirujano o como un cirujano autónomo robotizado, requiere del concurso de muchas especialidades ingenieriles diferentes y de diversas técnicas específicas de la Robótica. De todas ellas, en este apartado se presentan algunas de las principales agrupadas en cuatro temas: modelado matemático, sensores y actuadores, técnicas de control y el tema fundamental de imágenes (Consorcio OpenSurg, 2013).

MODELADO MATEMÁTICO

Los modelos matemáticos fundamentales para el diseño, análisis y control de robots son cuatro: *i*) modelos geométricos, *ii*) modelos cinemáticos de posición, *iii*) modelos cinematicos de velocidad, y *iv*) modelos dinámicos. A continuación, una muy breve presentación de estos modelos, los cuales se encuentran con mucho más detalle en Spong, Hutchinson, Vidyasagar, 2006.

MODELOS GEOMÉTRICOS

Estos modelos no son otra cosa que una representación virtual tridimensional del robot y de los elementos que constituyen su puesto de trabajo, en el caso de la Robótica Médica está incluido el paciente. Para generar estos modelos se utilizan técnicas muy variadas como los lenguajes de realidad virtual como VRML o Blender, también se utiliza el software de ingeniería en el cual se diseñan todas las piezas del robot y de manera automática se obtienen estos modelos. Su utilidad en la Robótica Médica es la generación de simuladores que permiten la visualización realista del puesto de trabajo, así como la evolución del robot y del herramental utilizado a fin de generar los planes operatorios y simularlos con objeto de evaluarlos y optimizarlos.

MODELOS CINEMÁTICOS DE POSICIONES

Estos modelos son de gran utilidad sobre todo en los sistemas de navegación quirúrgica en donde un sensor (rayos X o visión) hacen la medición de una posición de interés sobre el paciente o de alguna de las herramientas quirúrgicas en coor-

14. Manuel.indd 312 12/17/19 16:43

denadas cartesianas y debe transformar esta medición a movimientos del robot, el cual se define en coordenadas articulares. Se trata básicamente de funciones algebraicas con muchas funciones trigonométricas relativamente complejas que permiten la transformación de coordenadas: cuando se transforman coordenadas articulares en cartesianas se usa el modelo cinemático y directo, mientras que el modelo cinemático inverso transforma las coordenadas cartesianas en articulares y representa la parte más útil pero compleja del problema.

MODELOS CINEMÁTICOS DE VELOCIDADES

Estos modelos son similares a los anteriores, pero ahora se transforman velocidades y se obtienen mediante la aplicación de operadores derivativos sobre el modelo cinemático de posiciones, por lo que quedan representados por matrices Jacobianas. Estos modelos son los que permiten la creación precisa de planes operatorios en los cuales se especifican trayectorias estrictas definidas en el espacio cartesiano. Estos modelos son de gran utilidad cuando, además, se hace la especificación de las fuerzas que deben aplicarse, por ejemplo, cuando se trata de cirugías ortopédicas en donde el robot debe aplicar una herramienta de corte sobre los huesos del paciente.

MODELOS DINÁMICOS

Mientras que los modelos cinemáticos mencionados en los párrafos previos describen el movimiento del robot en cuanto a sus posiciones y/o velocidades a lo largo de sus trayectorias de trabajo, los modelos dinámicos describen estos mismos movimientos, pero tomando en cuenta las fuerzas que lo producen, es decir la energía que deben aportar sus actuadores (músculos del robot). Se trata de ecuaciones diferenciales ordinarias de segundo orden que son de gran utilidad en el diseño de los controladores del robot y en la simulación realista de disco dispositivo.

SENSORES Y ACTUADORES

Un lazo de control está formado esquemáticamente por cuatro elementos esenciales: *i*) el proceso a controlar, en este caso el robot, *ii*) el controlador, básicamente implementado en una computadora digital de propósito particular (sistemas embebidos), *iii*) los sensores que permiten medir las salidas del proceso, y *iv*) los actuadores que hacen funcionar al proceso, en este caso, los motores del robot. Todos estos elementos forman parte intrínseca de cualquier robot, sin embargo, para que pueda realizar tareas complejas de manera autónomo es necesario que

14. Manuel.indd 313 12/17/19 16:43

esté equipado con otro tipo de sensores que midan ya no el estado interno del robot sino que realicen una evaluación de la interacción del robot con su entorno: medición de posición relativa entre el robot y un objeto de interés (proximetría infrarroja o ultrasónica), medición de la posición en el espacio de un objeto de interés (visión artificial, rayos X, fluoroscopía), medición de las fuerzas de interacción entre el robot y su entorno (galgas tensométricas, sensores de fuerza de 6 ejes). Por su parte, los actuadores que utilizaría un robot para realizar tareas quirúrgicas van desde manos hasta herramental laparoscópico y cualquier otro instrumental médico.

TÉCNICAS DE CONTROL

Dado un cierto proceso, en este caso un robot cirujano, el objetivo de su sistema de control (en lazo cerrado) es el mantenimiento de las variables de interés (posiciones, velocidades, fuerza aplicada) en el valor establecido en la fase de planeación, independientemente de las perturbaciones que puedan ocurrir y de manera estable. Un sistema de control como este es un lazo cerrado en donde las variables de salida del proceso se comparan contra los valores deseados y, en caso de error, un algoritmo de control calcula la corrección necesaria a fin de mantener las variables de salida en los valores deseados. En este caso, las variables de salida del proceso son las posiciones y velocidades articulares del robot a lo largo de una trayectoria deseada y, algunas veces, la fuerza con la que el robot interacciona con su entorno; por ejemplo, al aplicar una herramienta de corte sobre alguna parte de la anatomía del paciente.

Típicamente, el algoritmo de control más empleado en esta y otras muchas aplicaciones es el controlador proporcional derivativo, en donde la señal de corrección tiene dos términos, uno que será proporcional al error de posición y otro que es proporcional al error en velocidad. Este controlador se aplica cuando los valores deseados de posición y velocidad han sido precalculados en la fase de planeación operatoria o bien cuando son generados manualmente por el cirujano utilizando un mecanismo denominado robot maestro, por oposición al robot esclavo que realiza la tarea. Este último caso corresponde a un robot teleoperado, mientras que el primero podría ser un robot autónomo o uno colaborativo.

En el caso de los robots colaborativos se suelen utilizar esquemas de control por admitancia, en donde el sistema mide la fuerza aplicada por el operador humano y el robot se comanda para que su movimiento sea proporcional a dicha fuerza. Otra de las características que tiene este tipo de controladores es que permite la creación de zonas prohibidas mediante fuerzas virtuales que impiden al robot entrar en partes de la anatomía del paciente en las que podría causar algún

14. Manuel.indd 314 12/17/19 16:43

daño. Por ejemplo, en cirugía oftálmica se impide que el instrumental manejado por el cirujano, con ayuda del robot, penetre en el ojo más de lo deseado.

Los robots teleoperados representan un problema de control más sofisticado, primero por los posibles retardos entre el movimiento del cirujano en el robot maestro en la consola de control y la respuesta del robot esclavo en el quirófano. El segundo problema importante es la retroalimentación de fuerzas, es decir, cómo hacer para que el cirujano sienta en el robot maestro las fuerzas que está experimentando el robot cirujano al momento de tocar al paciente con el instrumental quirúrgico; tema de mucha importancia en procedimientos

Así, en los robots teleoperados se distinguen tres casos: *i*) teleoperación unilateral, en donde el robot maestro guiado por el cirujano envía tan sólo consignas de posición y velocidad al robot esclavo que realiza la intervención, mientras que no se considera la fuerza que el cirujano aplica sobre el robot maestro; *ii*) control bilateral posición-posición, en donde el robot maestro genera consignas de posición al robot esclavo; y *iii*) control bilateral posición-fuerza, en donde además de las consignas en posición enviadas al robot esclavo, éste envía al robot maestro las fuerzas de interacción medidas a fin de que sean percibidas por el operador humano.

En el contexto de la teleoperación robótica, se denomina control bilateral a las técnicas de control que permiten que el robot esclavo se mueva de acuerdo con las consignas de posición generadas por el robot maestro, mientras que las fuerzas de interacción que aparecen entre el robot esclavo y su entorno se retroalimentan al robot maestro quien hace sentir dichas fuerzas al operador humano mediante un controlador de impedancia. Al robot maestro que es capaz de hacer sentir fuerzas al operador se le denomina dispositivo háptico. En estos sistemas generalmente los robots maestro y esclavo no tienen la misma cinemática por lo que se impone un escalamiento de las posiciones y de las fuerzas; además, en estos sistemas de control se hacen las siguientes suposiciones: la rigidez de los mecanismos es infinita, los sistemas son lineales, los acoplamientos son de un solo grado de libertad, la fricción es lineal, no se tiene juego en las transmisiones (*backlash*). Finalmente, los sistemas de teleoperación se evalúan a través de dos parámetros: *i*) seguimiento: capacidad del robot esclavo de seguir perfectamente (con errores mínimos en posición y velocidad), y *ii*) transparencia: que la impedancia sentida por el operador en el robot maestro es la misma impedancia del entorno (la que siente el robot esclavo), definición válida tan sólo para los esquemas de control bilateral posición-fuerza (Okamura, Hata, Burdet, 2016).

Para controlar dispositivos robóticos de rehabilitación tipo órtesis o exoesqueletos será necesario hacer la medición de bioseñales (EMG, EEG, electrogoniómetros, IMU) y aún las fuerzas de interacción entre el dispositivo y el miembro del paciente a fin de generar controles para el robot que hagan de la rehabili-

14. Manuel.indd 315 12/17/19 16:43

tación un proceso volitivo para el paciente. Estos lazos de control son llamados biocooperativos por estar basado en el uso de bioseñales.

VISIÓN ARTIFICIAL

Como se mencionó en la sección dedicada a los sistemas CAS, la Imagenología Médica es de vital importancia. Así, imágenes obtenidas mediante procedimientos como los Rayos X, el ultrasonido, la Tomografía Axial Computarizada (TAC), la Resonancia Magnética (RM), la Resonancia Magnética Funcional (RMf), entre otras son de gran ayuda al médico y no sólo en los sistemas CAS. En este contexto, resultan de interés tanto el Procesamiento Digital de imágenes (PDI) como el Análisis de Imágenes (ADI). A fin de permitir al cirujano una mejor detección de ciertas anomalías y de facilitarle la evaluación del paciente, en una primera instancia la aplicación de técnicas de filtraje digital, parte del PDI, permiten la eliminación de ruidos, la corrección de problemas de iluminación y, sobre todo, la puesta en relieve de las características de interés para el diagnóstico y para la planeación preoperatoria, así como la segmentación de las zonas de interés. Por su parte, el Análisis de Imágenes provee de una gran cantidad de algoritmos y procedimientos que permiten entender mejor y de manera automática la enorme cantidad de información visual que proporciona la Imagenología Médica. Entre los procedimientos de más interés o más utilizados en este contexto se tiene la Reconstrucción 3D, los Sistemas de Seguimiento (*tracking*) y el Registro de Imágenes, así como las modernas técnicas de Realidad Virtual y Realidad Aumentada (Okamura, Hata, Burdet, 2016).

RECONSTRUCCIÓN 3D

Uno de los hitos más importantes en la Medicina es sin duda la Tomografía Axial Computarizada, cuyo invento mereció al sudafricano Alan M. Cormack y al británico Godfrey N. Hounsfield el Premio Nobel de Fisiología y Medicina, primero que ha sido ganado por ingenieros, quienes en 1979 obtuvieron la primera imagen craneal en la que se distinguía claramente la masa encefálica. Para obtener una tomografía se realiza una serie de radiografías del paciente desde diferentes puntos de vista mediante rotaciones del paciente alrededor de su eje. Con esta secuencia de imágenes 2D se lleva a cabo la reconstrucción de un modelo virtual tridimensional, el cual puede visualizarse prácticamente de cualquier manera, en especial como un corte transversal para tener imágenes del interior del paciente.

14. Manuel.indd 316 12/17/19 16:43

SISTEMAS DE SEGUIMIENTO

En la navegación quirúrgica es necesario que un sistema de visión, generalmente estereoscópico, está capturando constantemente la posición tanto de la anatomía del paciente o de los *fiduciales* instalados en su cuerpo, como del instrumental médico empleado por el cirujano (robótico o humano) a fin de verificar que los movimientos se están realizando conforme al plan preoperatorio y, eventualmente, corregir las trayectorias que se han desviado ya sea por el movimiento del paciente o por algún error del cirujano. Aunque los más utilizados están basados en imágenes, también los hay magnéticos, utilizados sobre todo cuando el campo operatorio es pequeño como en la cirugía ORL (Otorrinolaringológica).

REGISTRO DE IMÁGENES

El registro de imágenes consiste en la superposición de imágenes de una misma escena tomadas desde diferente perspectiva o a diferentes escalas o aún con diferentes sensores. Tanto en la creación de los modelos virtuales tridimensionales como en la navegación quirúrgica es necesario hacer el registro de imágenes. Para ello, en una imagen se deben poder detectar puntos con su identificación y posición exacta dentro de dicha imagen, en una segunda imagen se hace lo mismo y ahora se trata de ver cuáles de estos puntos ya fueron vistos en la imagen previa. Se analiza su estructura geográfica y, si es diferente a la de los puntos de la imagen previa, se identifica la transformación que corrige dicha estructura y se aplica en toda la imagen para que sea posible superponerla sobre al anterior utilizando como guía al conjunto de puntos comunes en ambas imágenes.

TÉCNICAS DE VISIÓN ARTIFICIAL

En Imagenología Médica se emplean procedimientos de Procesamiento Digital de Imágenes tales como: filtraje de imágenes (filtros promediadores o gaussianos) y realzado de características (filtros Laplacianos, Diferencias de Gaussianas). Además, se aplican técnicas de Análisis de Imágenes como: detección, identificación y localización de puntos aplicando procedimientos como SIFT, SURF, FAST, ORB; apareamiento (*matching*) de puntos utilizando geometría epipolar y técnicas de correlación; identificación y aplicación de transformaciones geométricas afines y proyectivas. Además, sobre todo en simuladores para entrenamiento, se utilizan técnicas de realidad aumentada que permiten crear escenarios virtuales superpuestos con las imágenes actuales generadas por las cámaras del sistema CAS.

14. Manuel.indd 317 12/17/19 16:43

REALIDAD VIRTUAL Y AUMENTADA

Se denomina como Realidad Virtual al conjunto de técnicas computacionales basadas en Visión Artificial y Robótica que hacen sentir a una persona como inmersa en un mundo sintético pero que puede percibir con sus sentidos, especialmente con la vista y el tacto en lo concerniente a la cinestesia, o sea, la percepción del movimiento y de las fuerzas que lo producen. Muchas tareas de rehabilitación con ayuda de dispositivos robóticos suelen complementarse con técnicas realidad virtual a fin de hacer sentir al paciente que sus tareas forman parte de actividades de la vida diaria; con lo cual dejan de ser aburridas y captan mejor el interés del paciente. Por su parte, la realidad aumentada consiste en aplicar estas mismas técnicas para hacer aparecer en pantalla objetos virtuales (inexistentes) superpuestos al video generado por una cámara que permiten realzar las tareas a realizar por el cirujano o bien ayudarlo en el guiado de los instrumentos quirúrgicos empleados. Esto es muy útil en tareas de laparoscopia o de guiado visual (*tracking*).

VI. LA ROBÓTICA MÉDICA EN MÉXICO

En 1998 se llevó a cabo en México una campaña de validación del robot laparoscopista Da Vinci, con el cual se intervinieron 400 pacientes en 4 meses obteniendo resultados exitosos, mismos que en el año 2000 valieron la aprobación para su uso por parte de la FDA (*US Food and Drug Administration*: Administración de Alimentos y Medicamentos de los EUA). Esta es la razón por la que a principios de este siglo el Dr. Adrián Carbajal, cirujano mexicano pionero mundial en esta especialidad, tenía en su haber la mitad de las operaciones robotizadas hechas en todo el mundo (Carbajal Ramos, 2003) .A la fecha hay en el mundo más de 4,500 robots cirujanos Da Vinci, de los cuales una veintena trabajan en México. Robots cirujanos como Da Vinci, Zeus, Aesop o RoboDoc entre otros han realizado a la fecha más de cinco millones de intervenciones quirúrgicas en todo el mundo. Vale la pena mencionar que desde 2012 el IMSS cuenta con el robot CyberKnife, el cual realiza radiocirugías estereotácticas (RCE), que es una forma de radioterapia que enfoca energía de alta potencia sobre una zona pequeña del cuerpo. A pesar de su nombre, la radiocirugía es un tratamiento, no un procedimiento quirúrgico, pues no se hacen incisiones en el cuerpo (Accuray Incorporated, 2017).

Es importante hacer notar que el uso de este tipo de robots en el quirófano de los hospitales mexicanos, al igual que en el resto del mundo, se hace generalmente en el marco de sistemas de Cirugía Asistida por Computadora como los descritos en los párrafos previos. Además, la parte de Visión Artificial en los

14. Manuel.indd 318 12/17/19 16:43

aspectos de Imagenología son muy relevantes, por ejemplo, en los sistemas de tracking visual. De manera complementaria, se tienen los esfuerzos realizados durante las pasadas dos décadas en Instituciones de Investigación y de Educación Superior (IIES), tanto públicas como privadas, tendientes a crear tecnologías de apoyo para los sistemas CAS. Ejemplos de esto se tienen en el área de la Cirugía Mínimamente Invasiva, en donde el IPN utilizó en 2000 robots industriales como el Unimate, tanto en simulación como de manera real, en tareas de laparoscopia y el robot Tonatiu especialmente diseñado para ello(Minor Martínez, Martínez Méndez, 2016, pp15-20) . Otros ejemplos que se encuentran en el ITESM y en Cinvestav son algunos exoesqueletos tanto para extremidades inferiores como para las superiores. Y como estos ejemplos se tienen muchos más.

Otro aspecto de relevancia en el ambiente nacional han sido las reuniones científico académicas sobre CAS como el Simposio Mexicano de Computación y Robótica en Medicina que este año tuvo su vigésima edición muchas de ellas realizadas con la valiosa colaboración del Dr. Leo Joskovich con especialistas de alto nivel del área médica y del área ingenieril con excelentes resultados y, más recientemente, la Asociación Mexicana de Cirugía Robótica realizó su primer simposio en agosto de 2019, coincidiendo con el cuarto Congreso Latinoamericano de Cirugía Robótica en enero 2019.

Por nuestra parte, desde el 2000 en Cinvestav hemos venido trabajando en la Robótica Médica realizando trabajos de modelado y control de robots laparoscopistas, (Colmenero Mejía, 2003),en el modelado de objetos flexibles útiles en simuladores para entrenamiento de futuros cirujanos (Marmolejo Rivas, 2005), en el desarrollo de tecnologías de robótica y visión para sistemas CAS dentro del Proyecto OpenSurg (Docencia e investigación en Robótica Médica utilizando recursos software de código abierto)(Consorcio OpenSurg, 2013), en donde se abordaron, entre otros temas, la Cirugía ortognatica, la Cirugía oral y la maxilofacial. Actualmente nos enfocamos en el estudio de algunas discapacidades neuromusculares como la Espasticidad (Gutiérrez, Zannatha, y C. Disselhorst Klug, 2017-2019) junto con el desarrollo de órtesis robóticas para ayudar a pacientes con este síndrome (Pérez Sanpablo, 2020).

Finalmente, cabe mencionar que también tenemos proyectos en curso sobre el desarrollo de Interfaces Cerebro Computadora para extracción de imaginación motora y su uso en robots de asistencia a discapacitados (Domínguez Castelazo, 2017), (Hernández Rojas, 2019).

VII. COMENTARIOS FINALES

La aplicación de la Robótica en la medicina comenzó en el siglo pasado y ha tenido avances lentos pero seguros, de modo que actualmente se tienen sistemas

14. Manuel.indd 319 12/17/19 16:43

robotizados de muy altas prestaciones y utilizados a gran escala en todo el mundo como el sistema de laparoscopía robotizada Da Vinci, el robot de rehabilitación Lokomat o el Cyberknife, (Accuray Incorporated, 2017) robot para tratamientos de radioterapia en casos de cáncer. Además, constantemente aparecen nuevos prototipos para aplicaciones específicas como el robot para intervenciones en columna vertebral (Veritashealth, 2017), y muchos más. De este modo, los problemas del alto costo de estas tecnologías comienzan a quedar en el pasado y aparecen ahora problemas de entrenamiento de los médicos o los de mantenimiento y mejora de los equipos existentes.

Con todas las tecnologías aquí mencionadas como la Cirugía Mínimamente Invasiva, la Imagenología, la Robótica y la Visión Artificial entre otras es claro que los paradigmas como la Cirugía Asistida por Computadora (CAS) aportan grandes beneficios como tiempos de recuperación cortos, seguimiento personalizado tanto en las fases preoperatorias como en las posoperatorias y la generación de grandes cantidades de información sistematizada que permite optimizar los procesos, entre otros muchos beneficios. Estos sistemas permiten, además, la fácil realización de intervenciones antes muy complejas o tardadas, disminuyendo la fatiga en los cirujanos, lo cual optimiza el tiempo de quirófano y permite intervenir a un mayor número de pacientes con la misma infraestructura. Sin embargo, los costos de la inversión necesaria, el entrenamiento de los especialistas y el mantenimiento de los equipos resulta aún bastante onerosos. Esto ha dificultado la satisfacción de las grandes necesidades del Sector Médico del país, tanto público como privado.

Esto hace que en nuestro país sea necesario organizar los sectores tanto médico como Industrial especializado en Biomedicina y científico académico del país y vincularlos de manera eficiente alrededor de proyectos tendientes a generar las tecnologías que requiere la Medicina del S. XXI. Países como España o Israel han venido trabajando de este modo y cuentan con *Start Ups* y financiamientos para producir nuevos sistemas y equipamientos para utilizarse en sistemas CAS. Un programa de desarrollo tecnológico en Robótica Médica coordinando al Sector Salud con las IIES y con los fabricantes de equipos biomédicos permitiría bajar los precios y contar con tecnologías competitivas en una mayor cantidad de hospitales y así cubrir las demandas y necesidades de dicho sector.

VIII. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

A. Okamura, N. Hata, and E. Burdet (2016).*ICRA 2016 Tutorial on Medical Robotics*

14. Manuel.indd 320 12/17/19 16:43

Consorcio OpenSurg (2013). *Robótica Médica: Notas prácticas para el aprendizaje de la Robótica en Bioingeniería*. 280 páginas. Elche, España: Cyted, 2013. (https://sites.google.com/a/goumh.umh.es/roboticamedica/)

P. Maciejasz, J. Eschweiler, K. Gerlach-Hahn, A. Jansen-Troy, and S. Leonhardt (2014).*A survey on robotic devices for upper limb rehabilitation*, J. Neuroeng. Rehabil., vol. 11, no. 1, p. 3, 2014

V. Dietz, T. Nef, and W. Z. Ryme (2012*). Neurorehabilitation Technology*, London: Springer-Verlag

M. W. Spong, S. Hutchinson, and M. Vidyasagar (2006). *Robot modeling and control*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2006.

Adrián Carbajal Ramos, Adrián (2003). *Cirugía Robótica*. Cirujano General Vol. 25 Núm. 4, 2003

Minor Martínez, Arturo y Martínez Méndez, Rigoberto (2016).*Tonatiuh, el primer robot asistente quirúrgico desarrollado en México*. Ideas en Ciencia pp. 15-20

Página del Dr. Leo Joskovich: http://www.cs.huji.ac.il/~josko/

Colmenero Mejía, Braulio Samuel (2003). *Planeación de movimientos fuera de línea para un robot manipulador industrial*. Tesis de Maestría en Ciencias en Control Automático. Cinvestav, México. Octubre, 2003.

Marmolejo Rivas, Claudia (2005*). Mundos Virtuales Realistas Interactivos*. Tesis de Doctorado en Ciencias en Control Automático. Cinvestav, México. Diciembre, 2005.

Proyecto OpenSurg: https://sites.google.com/a/goumh.umh.es/opensurg/

SmartMove: Smart orthotic device to improve movement capacity of patients suffering from spasticity. Programa Foncicyt (proyecto No. 267734). Instituciones Participantes: RWTH Aachen University (Dra. C. Disselhorst Klug), (Gutiérrez, Zannatha, 2017-2019)

Pérez Sanpablo, Alberto Isaac (2020) . Desarrollo de una Órtesis de brazo para el control de la espasticidad en niños con parálisis cerebral. Tesis de Doctorado en Ciencias en Control Automático. Cinvestav, México. Febrero, 2020.

Domínguez Castelazo, Benjamín (2017). *Decodificación de tipos de agarre para Interfaz Cerebro-Computadora con aplicación en neurorehabilitación*. Tesis de Maestría en Ciencias en Control Automático. Cinvestav, México. Noviembre, 2017.

Hernández Rojas, Alessio Daniel (2019). *Desarrollo de una BCI pata un sistema de manipulación robotizada asistida por visión*. Tesis de Maestría en Ciencias en Control Automático. Cinvestav, México. Oct., 2019.

Accuray Incorporated, "Cyberknife," CyberKnife® ROBOTIC RADIOSURGERY SYSTEM, 2017. [Online]. Available: http://www.cyberknife.com/. [Accessed: 23-May-2017].

14. Manuel.indd 321 12/17/19 16:43

Veritashealth.com, "SpineAssist: Robotic Guidance System for Assisting in Spine Surgery," 2017. [Online]. Available: http://www.spine-health.com/news/20100820/spineassist-robotic-guidance-system-assisting-spine-surgery. [Accessed: 23-May-2017].

14. Manuel.indd 322 12/17/19 16:43

CAPÍTULO V
LA INDUSTRIA DEL FUTURO. LOS RETOS DE LA SUSTENTABILIDAD Y LA ECONOMÍA CIRCULAR

15. Edgar.indd 323 12/17/19 16:43

Desafíos del futuro energético para México. Potencial de las energías renovables

Edgar Ocampo Téllez*

SUMARIO

I. Introducción II. El acceso a energía III. Desafíos de la energía en el siglo XXI IV. Paradigmas contemporáneos en energía V. Tendencias en el consumo mundial de energía VI. Experiencia en modelos energéticos renovables VII. Limitantes de las renovables VIII. El potencial de las renovables en México IX. Infraestructura renovable en 2050 X.Conclusiones XI. Referencias

En el campo de la energía, nuestra desconexión del mundo físico-natural es brutal, retorcemos la realidad para ajustarla a nuestra imaginación confiando en que el poderoso ingenio humano lo resuelva todo.

(Edgar Ocampo, 2019)

RESUMEN

La humanidad enfrenta la urgente necesidad de reemplazar el consumo de combustibles fósiles, derivado de su eminente agotamiento y de los efectos nocivos que tienen para el medio ambiente. Ante ese desafío las energías renovables se plantean como la solución para sustituirlos.

El presente trabajo pretende aportar evidencia de los alcances que ha tenido en el mundo la "**transición energética**" a energías limpias, a través de la revisión crítica del comportamiento tendencial del consumo mundial de energía y, bajo esa perspectiva, realizar un acercamiento al potencial que tienen las fuentes re-

* Edgar Ocampo Téllez – Investigador Independiente, profesor ITAM/UNAM, ocampo@inergy.lat

15. Edgar.indd 325 12/17/19 16:43

novables en México para evaluar su capacidad de abastecer la futura demanda nacional de energía.

I. INTRODUCCIÓN

La humanidad consume diariamente 100 millones de barriles de petróleo (BP statistical review, 2019). Durante los 365 días del 2018, la humanidad consumió cerca de 36,000 millones de barriles. Esa cantidad de crudo, equivale a toda la reserva probada de petróleo de Nigeria, el décimo país con mayores reservas del mundo, y es seis veces mayor que la reserva probada de México. Se puede suponer que el ritmo de consumo mundial de petróleo es tan acelerado que en sólo un año puede agotar las reservas probadas de un país petrolero como Nigeria o agotar las reservas de petróleo de México en sólo dos meses.

Cada año la situación se agrava debido a que la demanda mundial de petróleo aumenta en alrededor de un millón de barriles más al día (AIE statistical Outlook, 2019). En el período que va del año 2008 al 2019, el consumo mundial de petróleo pasó de 84 millones de barriles al día a 100 millones de barriles al día. Las proyecciones sobre la futura demanda de petróleo estiman que se necesitarán cerca de 115 millones de barriles en 2030 (AIE statistical Outlook, 2019).

De mantenerse ese ritmo de consumo y esa tasa de crecimiento anual, durante los próximos 10 años la humanidad va a quemar alrededor de 420,000 millones de barriles. Esa cantidad de petróleo casi equivale a las reservas combinadas del país número uno y número dos con mayores reservas en el mundo; Venezuela y Arabia Saudita.

SE AGOTAN LAS RESERVAS GEOLÓGICAS

La industria petrolera internacional, después de 160 años de estar explorando meticulosamente en busca de yacimientos de hidrocarburos, ha identificado cerca de 3 millones de millones de barriles de petróleo en reservas probadas (U.S. Energy Information Administration data, 2019). Nos tomó 125 años consumir el primer millón de millones de barriles, pero consumir el segundo nos tomará sólo 30 años.

No importa lo que la propaganda internacional petrolera estime con respecto al incremento futuro de las reservas mundiales de petróleo, el ritmo de consumo es tan acelerado que se agotarán las mejores reservas de petróleo durante los próximos 10 años y, peor aún, en los próximos 30 años, se habrá terminado casi todo el petróleo que se ha identificado hasta el día de hoy en el planeta.

15. Edgar.indd 326 12/17/19 16:43

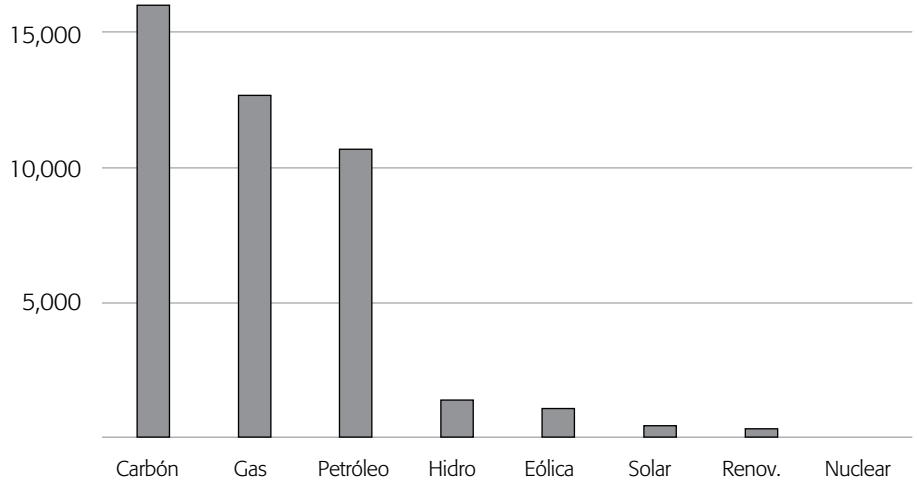
EL CARBÓN MINERAL Y EL GAS EN EL MISMO CAMINO

De la misma manera, el consumo mundial de carbón mineral aumenta en términos absolutos, y el consumo mundial de gas también. Los combustibles fósiles están conociendo una época dorada de alta demanda: Estados Unidos aumentó su consumo de gas natural de 2007 a 2017 en 30,000 millones de pies cúbicos diarios; China, entre 2007 y 2017 aumentó su consumo de carbón mineral en 300 Mtoe e India en 200 Mtoe.

TODO SE ACELERA

El incremento del consumo mundial de energía entre el año 2000 y el 2017 fue de 37%, durante ese período la fuente de energía que más aumentó su consumo fue el carbón, después el gas y en tercer lugar el petróleo, los combustibles fósiles representaron el 90% del incremento neto del consumo de energía de los últimos 17 años (gráfica 1).

Gráfica 1
Incremento neto del consumo mundial de energía 2000-2017



Fuente: Vaclav Smil (2017) and BP Statistical Review of World Energy.

El incremento del consumo mundial de energía en 2018 fue de 2.3%, de ese aumento el 70% fue cubierto por combustibles fósiles y el 30% por fuentes renovables (AIE, 2019). Esa tendencia se mantendrá durante al menos los próxi-

15. Edgar.indd 327 12/17/19 16:43

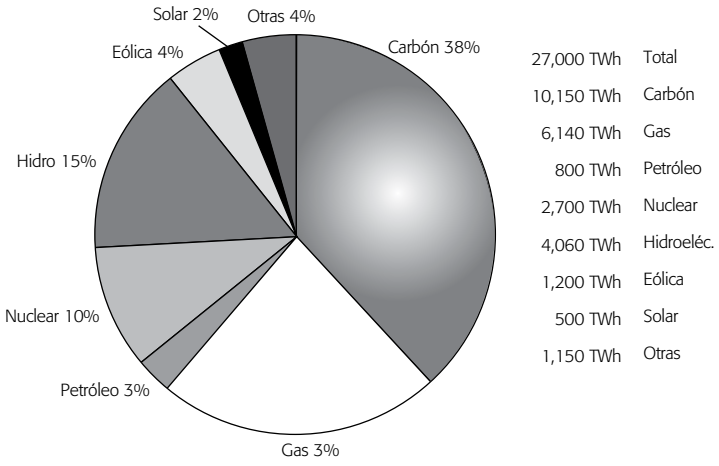
mos 10 años como resultado de las inversiones internacionales en la construcción de nuevas centrales eléctricas de carbón, en el desarrollo de explotación de petróleo del shale en Estados Unidos y en la construcción de nuevas terminales portuarias para la licuefacción y regasificación de GNL en todo el mundo.

EL DOMINIO DEL CARBÓN EN LA ELECTRICIDAD

El consumo mundial de electricidad en 2018 fue de 27,000 TWh, el 37% del total fue aportado por centrales de carbón, con aproximadamente 10,000 TWh. El crecimiento de la generación con carbón continúa de forma sostenida, están en construcción más de 200,000 MW de potencia en todo el planeta, decenas de carbo-eléctricas están siendo construidas principalmente en China, Japón y la India, seguidos en menor medida, por Indonesia, Pakistán, Polonia, Filipinas y Vietnam (Shearer, 2018).

La demanda de electricidad en el mundo crece a un ritmo de 1,000 TWh más, cada año. A lo largo de la última década el incremento del consumo ha sido cubierto en un 60% por nuevas centrales eléctricas de combustibles fósiles y el 40% por fuentes renovables (AIE statistical data, 2018). La capacidad mundial de generación de la energía eólica, que se ha construido en los últimos 30 años, aporta unos 1,200 TWh/año (IRENA statistical data, 2019). En el caso de la solar la capacidad mundial actual de generación es de sólo 500 TWh/año.

Gráfica 2
Balance de la generación eléctrica mundial 2018



Fuente: Agencia Internacional de la Energía.

15. Edgar.indd 328 12/17/19 16:43

RENOVABLES; SOBREDIMENSIONADAS CON APORTE MARGINAL

El despliegue masivo de fuentes renovables no ha logrado modificar sustancialmente el comportamiento tendencial del consumo mundial de petróleo, gas y carbón de los últimos 17 años. La expansión masiva de las renovables tampoco ha logrado detener el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (Harvey, 2018). El laboratorio meteorológico de Mauna Loa, registra cada año un nuevo record en la concentración atmosférica de CO2. El nivel de las 400 PPM fue rebasado hace tiempo, entonces ¿qué está ocurriendo con la transición energética a fuentes renovables?

MÁS RENOVABLES, MÁS APAGONES

Naciones como Australia, Inglaterra y Alemania, en su intento por impulsar a las renovables han experimentado desequilibrios en sus redes eléctricas, y hoy se encuentran en riesgo de sufrir apagones masivos. Australia, en enero de 2019, tuvo que recurrir a la medida medieval de realizar apagones escalonados de forma predeterminada, para evitar el colapso de su red eléctrica. La falta de capacidad de generación obligó a desconectar a miles de usuarios de la red. Amplias zonas de la región de Victoria regresaron a la edad media en cuestión de segundos. La vida se paralizó por largos períodos, restaurantes, comercios, oficinas, centros comerciales dejaron de funcionar. Las renovables no estuvieron disponibles en el momento en que más se les necesitaba. Si bien, Australia ha implementado un agresivo programa de desarrollo de energía eólica y solar en su territorio, cuando no hay viento y no hay sol son las centrales de carbón y de gas las que hacen el esfuerzo para que el país no regrese a la edad de piedra.

EL MILAGRO DEL ALMACENAMIENTO

Se están desarrollando soluciones de almacenamiento de electricidad para resolver la intermitencia de las fuentes renovables por medio de bancos de baterías, sistemas de rebombeo en presas e infinidad de inventos que actualmente están en desarrollo. Sin embargo, es notable que hace 10 años la eólica y la solar se promovían como solución para sustituir a los combustibles fósiles sin mencionar la necesidad de un sistema de respaldo. Hoy se reconoce que requieren almacenamiento. Eso supone un sensible encarecimiento de esta opción, por lo que es falso el argumento de que la eólica y la solar son más baratas que las centrales eléctricas de combustibles fósiles.

La batería más grande que hoy existe en el mundo podría abastecer de electricidad a la Ciudad de México durante únicamente un minuto. Los períodos en

15. Edgar.indd 329 12/17/19 16:43

que no hay viento ni sol en el Valle de México son frecuentes y pueden durar más de 3 días, entonces ¿de qué tamaño sería la batería para darle electricidad a la Ciudad de México durante ese tiempo?

LAS RENOVABLES DEPENDEN DE COMBUSTIBLES FÓSILES Y DE RECURSOS NO RENOVABLES:

Se había imaginado que las renovables nos alejarían del uso de los combustibles fósiles, la ironía en esta historia de la energía, es que el camino de las renovables nos remite, inevitablemente, de regreso a los combustibles fósiles. La humanidad tendrá que incrementar sensiblemente la extracción de recursos minerales no renovables y de combustibles fósiles para hacer posible el sueño de la transición energética hacia fuentes renovables.

Cada turbina instalada en el planeta tiene un tubo de soporte de 100 metros de altura y 5 metros de diámetro, con un peso aproximado de 300 toneladas. Para fabricar el acero del pedestal, se requiere fundir unas 150 toneladas de carbón mineral junto con otras 150 toneladas de hierro, por lo que cada turbina que sea instalada en el mundo, nos ancla todavía más al consumo de carbón mineral y, al mismo tiempo, al de las materias primas no renovables como el hierro.

La cimentación de una turbina eólica requiere de unos 250 m3 de concreto y alrededor de 80 toneladas de varilla corrugada de acero. La industria del cemento es responsable del 5% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero y la industria del acero es responsable del 4% (Jancovici, 2017). Cada turbina eólica que se instale en el planeta nos ancla aún más a la dependencia de de recursos no renovables como el cemento y el acero y, además, nos condena a seguir emitiendo cada vez más gases.

El 70 % de los paneles solares del mundo se fabrican en China, cuya electricidad es producida en un 65% con centrales eléctricas de carbón. El abaratamiento del precio de la solar es debido gracias, en gran parte, a que su fabricación fue transferida a China. Parece inevitable que el castillo de las renovables será construido sobre cimientos de carbón, de gas, de petróleo y de materias primas no renovables.

Las materias primas necesarias para montar el sistema eólica-solar-baterías, hará saltar por los cielos el extractivismo a nivel planetario. Níquel, Aluminio, Cobre, Cobalto, Hierro, etc., son minerales no renovables que se extraen de minas; todos ellos son necesarios para fabricar turbinas eólicas y paneles solares. Si la humanidad tiene al planeta al borde del colapso ecológico por la extracción de los recursos minerales que se utilizaron para montar la actual infraestructura de servicios energéticos fósiles, la explotación de los recursos del nuevo modelo renovable será por lo menos 6 veces mayor.

15. Edgar.indd 330 12/17/19 16:43

OBSERVACIONES PRELIMINARES

Las decisiones que se tomen en materia de energía durante los próximos 5 años, serán la diferencia entre la posibilidad de que nuestros hijos puedan acceder a salud y educación o, por el contrario, tengan que sobrevivir agazapados entre los escombros de una sociedad que no entendió a tiempo, que todas aquellas especies vivas en el planeta que rebasan la capacidad de carga del entorno que les permite prosperar, terminan colapsando inevitablemente (Diamond, 2004). Sopeso cuidadosamente mis palabras y considero que no es exagerado predecir que esta "energívora" sociedad moderna va rumbo a una crisis energética global y no a la transición energética prometida.

El presente trabajo aporta una serie de evidencias que demuestran que la humanidad no está tomando las decisiones adecuadas para enfrentar la más grande crisis civilizatoria de la historia humana. Las naciones tienen que asumir que ha llegado el momento de moderar el frenético crecimiento de la demanda mundial de energía, sin causar desequilibrios en el sistema económico globalizado. Sólo la reducción, en términos absolutos, del consumo mundial de energía nos permitirá tener esa última oportunidad para construir un modelo energético sostenible.

II. EL ACCESO A ENERGÍA

Hasta hace unos 200 años la humanidad dependía de un flujo limitado de energía renovable proveniente de la madera (Ritchie, Roser, 2018) y, de forma marginal, de la fuerza del viento, del agua y de los animales de tiro que movían herramientas, molinos y embarcaciones, así como también, de la energía del sol para calentar agua y el secado de los alimentos (carne, semillas y frutas). En esa época, la disponibilidad de la madera constituía uno de los límites naturales a la expansión de la población. La sobreexplotación de los bosques constituía una amenaza crítica para la estabilidad y la continuidad de una comunidad del siglo XVIII (Diamond, 2004). Los habitantes de la Isla de Pascua son el ejemplo del colapso de una sociedad, derivado del abuso de sus recursos forestales. Inglaterra vivió su primera gran crisis energética en los albores de la revolución industrial al agotar sus recursos forestales.

LAS RESERVAS GEOLÓGICAS DEL PLANETA

La humanidad comenzó a utilizar el carbón, un mineral fósil que se extraía de las minas, a mediados del siglo XVII. El carbón se quemaba de forma rudimentaria en cocinas, fundiciones y en pequeñas fábricas de algunos países de Europa,

15. Edgar.indd 331 12/17/19 16:43

de alguna forma, el carbón mitigó la sobreexplotación de la madera en algunas regiones del planeta.

A principios del siglo XVIII, Inglaterra había acabado, casi por completo, con sus bosques y sus minas de carbón comenzaban a presentar problemas con la producción (Roberts, 2004). Ambos combustibles ya no eran suficientes para acompañar el nacimiento de miles de fundiciones y pequeñas fábricas que demandaban cada año más energía. Sólo la ciudad de Londres consumía alrededor de mil toneladas de carbón al día en esa época (Roberts, 2004).

El carbón abastecía gran parte de las necesidades de la floreciente era preindustrial inglesa. Sin embargo, para principios del siglo XVIII se habían agotado las minas superficiales de carbón y era necesario excavar aún más profundo, pero a medida que se profundizaban las minas, el agua inundaba las galerías y obstruía la extracción. Inglaterra se enfrentaba su primera gran crisis energética de la era preindustrial.

En 1712, Thomas Newcome salva del abismo energético postmedieval a la revolución industrial inglesa con su máquina de vapor. Ese año, sobre una galería de la mina inundada de Coneygree Coal Works de Staffordshire, Newcome realiza la primera prueba para bombear el agua a la superficie con su rudimentario invento (Roberts, 2004).

La máquina de Newcome pretendía liberar la mina y permitir la extracción del carbón, sin embargo, años después, su máquina se transformaría en la piedra angular de la expansión industrial moderna, sin saberlo, Thomas Newcome, abriría la puerta a la era de la exuberancia energética.

A pesar de que los siglos XVIII y el XIX fueron dominados por el carbón, el uso de la madera continuó creciendo. El carbón nunca reemplazó el consumo de madera. El carbón era utilizado para el abasto de energía para el desarrollo industrial. La madera continuaba siendo utilizada en actividades artesanales y domésticas.

Con los años, la máquina de Newcome fue perfeccionada y su uso se extendió a todos los sectores de la industria, el transporte, la construcción y la minería. Barcos, grúas, máquinas, autos y trenes comenzaron a tener mayor capacidad que los carruajes de animales de tiro, para mover personas, materiales, minerales y mercancías. Con el carbón, la sociedad salió del letargo postmedieval a la era de la velocidad; ahora se podía acceder de forma más rápida a distancias más lejanas y a mayor cantidad de recursos naturales y energía. El dinamismo industrial generó mayor demanda de energía. El binomio Producción industrial y consumo de energía entró en un proceso de estimulación reciproca; a mayor producción, mayor demanda de energía, y a mayor disponibilidad de energía, mayor producción. Fue hasta el año 1905 que el consumo de carbón igualó al de la madera, el consumo mundial de energía era entonces de 50% carbón y 50% madera.

15. Edgar.indd 332 12/17/19 16:43

EL PETRÓLEO, PIEDRA ANGULAR DE LA SOCIEDAD INDUSTRIAL MODERNA

A finales del siglo XIX, inicia el uso del petróleo. Edwin Drake, contratado por la petrolera Seneca Oil logra perforar en 1859 un pozo en Titusville, Pensilvania, dando inició a la época moderna del uso de la energía (Roberts, 2004). Sin embargo, el petróleo tardo casi 100 años en ser utilizado de forma masiva. Durante la primera guerra mundial, la marina de guerra inglesa fue la primera en transformar su flota de barcos que usaban máquinas de vapor de carbón a embarcaciones equipadas con motores diésel, un derivado del petróleo. El uso extensivo del petróleo inició después de la segunda guerra mundial, en 1965 el consumo mundial de petróleo logró alcanzar al consumo de carbón. En ese año el balance mundial de energía era 30% petróleo, 30% carbón, 20% gas y 20% madera.

Las aplicaciones para el uso del petróleo se multiplicaron rápidamente. La revolución verde en la agricultura fue posible gracias a los derivados del petróleo. Los fertilizantes aumentaron en más de 10 veces el rendimiento de las cosechas, los tractores a gasolina o diésel permitían que un solo agricultor pudiera cultivar más de 100 hectáreas y los pesticidas derivados del petróleo evitaban la pérdida de las cosechas (Tiezzi, 2018).

Rápidamente, la humanidad le confió al petróleo toda su habilidad para producir alimentos a partir de 1960; desde la preparación de los suelos agrícolas, hasta el transporte de las cosechas a las ciudades, la huella del petróleo está presente en cada una de la etapas del proceso agroindustrial. Se requieren 10 calorías de petróleo para producir una sola caloría de alimento (Heinberg, 2004).

Todos los sectores económicos fueron readecuados para usar el petróleo, pero en el que más importancia tuvo fue en el transporte; barcos, maquinaria, aviones, trenes y automóviles fueron el instrumento de la expansión industrial moderna. A pesar del vertiginoso empuje del petróleo en todos los ámbitos de la vida moderna, nunca reemplazo el uso del carbón. En diversos usos industriales era más propicio quemar carbón que usar petróleo, como en la generación de electricidad, en calderas y fundiciones.

El gas, por lo general viene asociado a la producción de crudo, por lo que tuvo un consumo casi simultáneo al del petróleo, pero de forma más moderada. Su uso se generalizó hasta después de 1950. El uso del gas se destinó a la mal llamada petroquímica, que más bien es la química del gas y sus principales usos son para la producción de plásticos, fibras sintéticas, fertilizantes y la generación de calor. El gas no ha superado el consumo de carbón ni el del petróleo.

15. Edgar.indd 333 12/17/19 16:43

EL RENACIMIENTO DE LA HIDRÁULICA

La energía hidráulica fue la primera fuente renovable en retomarse en la era moderna. Fue hacia finales del siglo XIX y se utilizó para generar electricidad. El despliegue de esta tecnología se generalizó rápidamente en el mundo, se construyeron en promedio unas 80 presas por año durante el período de 1900 a 1945. Después de la segunda guerra mundial el promedio de construcción de presas se elevó rápidamente hasta llegar a un pico de 800 por año en 1975. A partir de entonces, el ritmo declinó a menos de 100 presas construidas por año en 2010. Existen regiones del mundo como Norteamérica y Europa en donde ya no se construyen presas importantes desde hace más de 20 años, debido a que la mayor parte de las cuencas hidrológicas ya han sido utilizadas. La aportación de la hidráulica al consumo mundial de energía siempre ha sido marginal, nunca ha sido mayor al 3%. Esta es la mejor de las fuentes renovables, porque a diferencia de la eólica y la solar, la hidráulica permite almacenar el agua y utilizarla justo cuando se necesita.

LA ENERGÍA NUCLEAR

El uso comercial de la energía nuclear inicia a partir de 1960 con los primeros reactores instalados en Inglaterra, los Estados Unidos y la Unión Soviética y posteriormente en Francia y Alemania. Algunas naciones desarrolladas apostaron decididamente construir reactores nucleares como una opción para disminuir la dependencia y el impacto de las fluctuaciones del petróleo. Francia logró construir en 20 años un parque nuclear de 19 centrales que albergan 58 reactores, que generan al año en promedio 400 TWh, garantizando el 70% de su electricidad. La energía nuclear tuvo un rápido crecimiento durante el período que va de 1970 a 1990, pero con el desastre nuclear ocurrido en 1986 en Chernóbil, Unión Soviética y, posteriormente, con el percance nuclear en la central de Fukushima Japón en 2011 la construcción de nuevas centrales disminuyó sensiblemente. En Estados Unidos la nuclear aporta el 20% de su electricidad, en Alemania y Japón llegó a aportar el 30% del consumo de electricidad durante el período que va del año 1990 al 2000, después del accidente nuclear en Fukushima Japón el aporte de la nuclear ha disminuido en ambas naciones por debajo del 10%.

Los riesgos del almacenamiento del uranio usado y los accidentes de Chernóbil y Fukushima han provocado una fuerte resistencia al desarrollo de nuevas centrales en muchos países. Los grupos ambientalistas antinucleares en Alemania lograron que el gobierno apague definitivamente todos sus reactores para el año 2022. El desarrollo actual de la nuclear se limita a pocos reactores en construc-

15. Edgar.indd 334 12/17/19 16:43

ción, esencialmente en Rusia, China e India (Stones, 2014). Esta tecnología aporta el 2% del consumo mundial de energía y el 10% de la generación eléctrica.

GEOTERMIA

La energía geotérmica inició su explotación comercial en la segunda mitad del siglo XX, sin embargo, la primera instalación se construyó hace más de 100 años en Larderello, Italia (Lund, 2005). La mayor parte de la capacidad existente en el mundo se construyó entre 1930 y 1950. Los países con mayor producción de electricidad con geotermia son por orden de importancia Estados Unidos, Filipinas, México, Indonesia, Italia, Japón, Nueva Zelanda e Islandia, estos 8 países concentran el 83% de la generación mundial con geotermia.

Es una de las mejores fuentes renovables ya que no presenta intermitencia, siempre está disponible a su máxima capacidad y no presenta variaciones, sin embargo, con el tiempo, la capacidad de generación de los yacimientos disminuye debido a diversos problemas técnicos. Su aportación actual al consumo mundial de energía es casi nulo, no llega al 1%. Los mejores yacimientos termales del planeta ya han sido utilizados.

EÓLICA, SOLAR Y BIOMASA

El motivo inicial que impulsó el desarrollo de estas fuentes no fue la conciencia ambiental sino la escasez de petróleo que ocasionaron el embargo petrolero árabe de 1973 y la guerra Irán-Irak de 1980. Las sociedades industrializadas se enfrentaron durante ese período, a una severa escasez de crudo que afectó todas las actividades económicas, principalmente el transporte. La seguridad energética se convirtió en una componente crítica, algunas naciones diseñaron estrategias para disminuir su dependencia del petróleo; Estados Unidos creó las reservas estratégicas de crudo de 727 millones de barriles, Strategic Petroleum Reserve (SPR), en Luisiana y Texas, Dinamarca apostó por la eólica (IRENA, 2012), Brasil por el etanol (Oliveira, 2008), Canadá inició la explotación del peor petróleo del planeta que yace en los campos petrolíferos de arenas asfálticas de Alberta. El impulso a estas acciones se mantuvo a lo largo de la década de los ochentas. Sin embargo, la estabilización del flujo del petróleo en los mercados internacionales después de 1990, provocó el desplome del precio del barril ocasionando que la expansión de las energías renovables y las explotaciones costosas de petróleo fueran abandonadas.

Después de la cumbre por la tierra en Rio de 1992, el desarrollo de la eólica, la solar y los biocombustibles (etanol y biodiesel) comenzó a tener un nuevo

15. Edgar.indd 335 12/17/19 16:43

renacimiento. Sin embargo, el verdadero despliegue de las renovables ocurrió 15 años más tarde, con el alza del precio del barril del petróleo ocurrido en 2007. El encarecimiento de los hidrocarburos permitió a estas tecnologías ser nuevamente viables. Diversas naciones han implementado políticas energéticas para impulsar el desarrollo masivo de fuentes renovables. Sin embargo, el aporte actual combinado de la eólica, la solar, de biomasa y biocombustibles es de apenas el 2% del consumo mundial de energía y el 10% de la generación de electricidad.

III. DESAFÍOS DE LA ENERGÍA EN EL SIGLO XXI

En los próximos años, la humanidad tendrá que asumir los enormes desafíos que supone el declive de la capacidad de extracción de recursos energéticos del planeta, como consecuencia de la explotación incesante de petróleo, gas y carbón en las últimas 7 décadas. La humanidad ha consumido 4 veces más energía en ese período que en los 200 años precedentes. El crecimiento demográfico y el progresivo aumento de la capacidad de consumo per cápita, están impulsando la demanda de energía y de recursos naturales a niveles cada vez más altos, mientras que en sentido opuesto, las reservas se están agotando rápidamente. Cada año se necesita más energía, pero cada año hay menos disponible.

Los procesos naturales de la tierra mantuvieron estable a la población humana durante más de 200,000 años, hasta llegar al siglo XVIII. Durante la etapa temprana del desarrollo industrial existían alrededor de 500 millones de personas. En esa época, las vastas reservas de energía y de recursos naturales estaban casi intactas y el consumo per cápita era muy bajo.

Hoy, la ecuación a la que se enfrenta la transición energética a renovables es muy diferente, la humanidad es 15 veces mayor, cada 12 años se suman 1,000 millones de personas a la población y el ciudadano moderno consume al menos entre 10 y 15 veces más energía que un artesano del siglo XVIII. Además, el planeta ya no se encuentra en las mismas condiciones de hace 200 años, ya hemos agotado las mejores reservas de energía y los yacimientos de minerales.

Jamás habían sido explotados con tanta obsesión, los mantos acuíferos, las reservas de hidrocarburos, los suelos, los bosques y los mares, con un devastador efecto para el equilibrio ambiental y la biodiversidad. Las ciudades demandan cada día más agua, electricidad, combustibles y materias primas. En el proceso de alimentar a nuestras grandes urbes provocamos el agotamiento progresivo de la parte vital que nos da sustento en el planeta; los ecosistemas naturales. Para evadirnos del problema, hemos construido el manto ideológico-institucional llamado "desarrollo sustentable" para disimular nuestras atrocidades ambientales. La explotación de petróleo de arenas asfálticas en Canadá, el fracking en Estados

15. Edgar.indd 336 12/17/19 16:43

Unidos y la minería de tierras raras en Baotou en China, para la fabricación de componentes de las renovables, constituyen ejemplos de esa tragedia.

Para lograr cohabitar, en este enrarecido entorno, ha sido la energía la que nos ha brindado la posibilidad de mitigar los efectos nocivos que estamos ocasionando al planeta. Si los suelos se degradan, podemos restaurarlos con grandes máquinas y fertilizantes. Si el agua escasea, la podemos bombear de más profundo o traerla de más lejos a las ciudades. Si los vertimientos de aguas residuales se vuelven intolerables; podemos tratarlos y mejorarlos. Sin embargo, todas estas compensaciones ecológicas dependen de un flujo colosal de energía fósil.

Las incoherencias del sistema económico-energético mundial provocan un desperdicio muy alto de energía que no se resuelve con el cambio de fuentes fósiles a renovables o con la introducción de vehículos eléctricos. El problema no radica en el origen de la energía sino en la forma en que la utilizamos: una camioneta pick-up doble cabina 4x4 tiene un motor de 420 HP (caballos de fuerza), ese motor acoplado a un generador eléctrico puede desplegar alrededor de 315 KW de potencia, con esa capacidad se puede dar electricidad a unas 150 viviendas. Se ha normalizado en esta sociedad el uso de poderosos vehículos a pesar del despilfarro de energía que representan. Los vehículos eléctricos también están siendo construidos bajo esa misma lógica, la ostentosa potencia innecesaria.

En esa misma lógica, una manzana cosechada en el estado de Coahuila viaja en tráiler 1,000 kilómetros hacia la central de abastos en la Ciudad de México, para luego ser adquirida por una empresa de tiendas de autoservicio, que la llevará de regreso otros 1,000 kilómetros a la ciudad de Saltillo, Coahuila para su venta final al público. Los aguacates cosechados en el estado de Michoacán viajan en avión más de 10,000 kilómetros a la ciudad de París, para luego ser transportados 1,000 kilómetros hacia la ciudad de Marsella para finalmente ser colocados en los anaqueles de tiendas de autoservicio, entonces ¿qué sentido tiene convertir el sistema energético a renovable si hoy existe un desperdicio monumental de energía?

IV. PARADIGMAS CONTEMPORÁNEOS EN ENERGÍA

Hay una percepción generalizada de que las fuentes de energía renovable son la solución para reemplazar el uso de combustibles fósiles, así como para mitigar el cambio climático y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Asimismo, hay la creencia de que la transición energética en el mundo es un éxito y que muchos países ya están funcionando casi exclusivamente con energías limpias, el ejemplo reiterativo es Costa Rica. Sin embargo, el comportamiento tendencial del consumo mundial de energía, indica todo lo contrario: la demanda de com-

15. Edgar.indd 337 12/17/19 16:43

bustibles fósiles continúa creciendo, la emisión de gases de efecto invernadero continúa aumentando y el aporte combinado de todas las fuentes renovables en 2019 es marginal; cubre apenas el 4% de la demanda mundial, en donde la hidráulica representa el 3%.

En el ámbito del sector de energía existe una deliberada manipulación de la información para promover el desarrollo de un determinado tipo de fuente. Las empresas involucradas en un nicho específico de energía, ya sea de hidrocarburos, nuclear, carbón o renovables, financian grupos de cabildeo, equipos de investigación y asociaciones civiles para construir corrientes de opinión que influyan en la definición de la política energética.

Universidades, organizaciones civiles y agencias de energía fabrican paradigmas a través de estudios e investigaciones, entre algunos de los más emblemáticos paradigmas que se han construido en los años recientes, se pueden mencionar los siguientes cuatro: el primero, es del Departamento de Energía de los Estados Unidos, que en reiteradas ocasiones ha expresado que la independencia energética de ese país está garantizada por el nuevo desarrollo de la explotación de hidrocarburos provenientes del shale-oil y el shale-gas por medio de la tecnología del fracking; el segundo, es del gobierno de Alemania que supone que podrá cerrar todas sus centrales eléctricas nucleares en el año 2022 y todas las de carbón para el año 2038, con el objetivo de abastecerse exclusivamente con fuentes renovables; el tercero, es del gobierno de Francia que busca promover el uso de autos eléctricos por medio de la prohibición de la venta de vehículos de gasolina y diésel a partir del 2040; finalmente, el cuarto, proviene de dos universidades, una de Dinamarca y otra de Inglaterra, las cuales afirman, a través de un estudio, que es posible generar electricidad suficiente para todo el planeta instalando 11 millones de turbinas eólicas en una superficie de 5 millones de kilómetros cuadrados del territorio europeo (Dormehl, 2019).

En línea de la construcción de paradigmas, el estudio más controversial fue el que realizó, en 2017, un grupo de investigadores de la universidad de Stanford, liderados por Mark Z. Jacobson, titulado "100% Clean and Renewable Wind, Water, and Sunlight All-Sector Energy Roadmaps for 139 Countries of the World", en el cual se afirma que 139 países, incluido México, pueden lograr la transición hacia un modelo energético basado 100% en fuentes renovables (Jacobson, 2017). Sin embargo, el estudio de Jacobson fue cuestionado por otro equipo de investigadores de diferentes universidades en un artículo publicado en la revista científica "The Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)", titulado "Evaluation of a proposal for reliable low-cost grid power with 100% wind, water, and solar" por la inconsistencia de muchos de sus supuestos para elaborar la prospectiva (Clack, 2017).

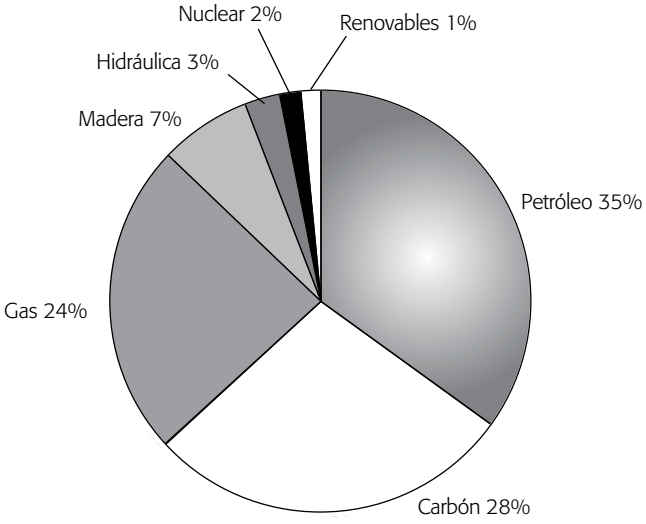
15. Edgar.indd 338 12/17/19 16:43

La construcción del paradigma de un mundo 100% renovable, se hace con base en cálculos aritméticos simples y a supuestos muy básicos, la construcción del paradigma de un mundo pletórico de reservas de petróleo, también. Las tendencias en el consumo de energía son determinadas por leyes bio-físicas y no por la imaginación, el ingenio o la convicción política. Si no se consideran esas condicionantes en la formulación de política energética, nunca se tomarán las decisiones adecuadas para enfrentar los retos que amenazan la continuidad de la humanidad en el planeta.

V. TENDENCIAS EN EL CONSUMO MUNDIAL DE ENERGÍA

La sociedad moderna termo-industrial es dependiente de los combustibles fósiles y las renovables poco pueden incidir para modificar esa situación. Fuera de lo anterior, el resto de la información en el ámbito de la energía, es burda propaganda. Los combustibles fósiles están en los albores de la declinación de la capacidad mundial de producción y las renovables tienen una aportación marginal en el consumo mundial de energía. No existe una solución milagrosa; la humanidad se dirige a una difícil coyuntura energética.

Gráfica 3
Balance del consumo mundial de energía 2019



Fuente: BP Statistical Review.

15. Edgar.indd 339 12/17/19 16:43

Bajo en el contexto de las limitantes técnicas y físicas del proceso de aprovechamiento de la energía ninguno de los 4 paradigmas antes señalados es posible: primero, la explotación de hidrocarburos provenientes del shale-oil y shale-gas en Estados Unidos está subordinada al proceso de agotamiento geológico natural que han sufrido el resto de las cuencas petroleras en el mundo, es decir, la producción americana del shale llegará a un pico máximo y luego declinará (Ocampo, 2013); segundo, si Alemania cierra todas sus centrales nucleares y de carbón perderá alrededor de 300 TWh/año de electricidad, que tendrán que ser reemplazados por centrales de gas, ya que las renovables están llegando al límite máximo de ocupación superficial de las zonas más aptas en ese país; tercero, si Francia transforman su parque vehicular a eléctrico, duplicará su demanda de electricidad y será necesario construir nuevas centrales eléctricas y; cuarto, la propuesta de instalar 11 millones de turbinas eólicas en Europa como solución al problema energético está fundamentada en un cálculo simple entre la superficie y la potencia, que no considera los problemas sociales y ambientales inherentes. La expansión de la energía eólica en Europa está declinando por la creciente oposición de las comunidades afectadas por los nuevos proyectos de parques eólicos. En Alemania existen poco más de 30,000 turbinas y la población está en pie de guerra y oposición a la eólica, los litigios por inconformidad han desplomado el ritmo de instalación de nuevas turbinas a sólo 230 MW en la primera mitad de 2019, cuando anualmente se instalaban en promedio 4,500 MW.

En sentido opuesto a lo que postulan los paradigmas y lo que señala la propaganda en favor de las renovables, el comportamiento del consumo mundial de energía evidencia otra realidad, en donde la expansión de los combustibles fósiles predomina:

- China aumentó su capacidad de generación eléctrica con centrales de carbón en 500 TWh/año entre el año 2016 y el 2018. Esa cantidad de electricidad equivale a toda la capacidad de generación mundial de la solar, disponible en 2018.
- Japón ha puesto en marcha 8 centrales eléctricas de carbón en los últimos 3 años y está construyendo más de 30 centrales nuevas para agregar 18,000 MW de potencia con carbón (Normile, 2018).
- En enero de 2019, Australia tuvo que recurrir a apagones programados escalonados para evitar el colapso total de su red eléctrica, debido a la insuficiente generación de las fuentes renovables.
- Alemania continúa expandiendo sus minas de carbón en su territorio (Clean Energy Wire, 2016) y su generación eléctrica proviene en un 35% de centrales carbo-eléctricas.

15. Edgar.indd 340 12/17/19 16:43

- En Costa Rica el petróleo aporta el 60% del consumo de energía primaria, a pesar de que su sector eléctrico sea 100% renovable.
- En noruega, gas y petróleo cubren el 50% de las necesidades de energía.
- El consumo mundial de petróleo en la última década se ha incrementado a un ritmo anual de 1 millón de barriles al día cada año.
- El consumo mundial de carbón aumentó un 10% en la última década, pasando de un consumo anual de 3,451 Mtoe en 2007 a 3,731 Mtoe en 2017.

VI. EXPERIENCIA EN MODELOS ENERGÉTICOS RENOVABLES

En la práctica, la implementación de modelos energéticos basados en renovables es muy compleja y muy costosa. Alemania ha impulsado una férrea política de transición energética desde hace 30 años para descarbonizar su economía, promoviendo a través de subsidios el desarrollo de la eólica, la solar y la biomasa. Sin embargo, esas acciones hasta ahora, han tenido un impacto moderado en el balance de energía y en las emisiones de gases de efecto invernadero, varias de las metas que se han propuesto no van a ser alcanzadas (Clean Energy Wire, 2018). La generación de electricidad sigue siendo dominada por el carbón, el cual aporta el 35% del total. El 17% proviene de la eólica, el 14% de la solar y biomasa, el 13% de centrales de gas y el 12% de la nuclear. El resto, un 9% es la aportación combinada entre hidráulica, geotermia, petróleo y otros tipos de generación.

En 1991 el parlamento alemán instauró el "Electricity Feed-in Act" que creaba una serie de disposiciones para estimular la construcción de infraestructura de energía renovable. 10 años más tarde, Alemania revisó su política de energía bajo el nombre de "Renewable Energy Source Act 2000", reforzando aún más las medidas para el impulso de las renovables y finalmente, en el año 2010, se modificó nuevamente y se rebautizó con el nombre de "Energiewende" (revolución energética) (Pelegry, Ortiz, Menéndez, 2016).

En 2010 el Gobierno alemán presentó el texto final del Energiewende, justo unos meses antes del accidente nuclear de Fukushima, Japón. Una de las medidas radicales propuestas en el nuevo plan, es el cierre progresivo y definitivo de la energía nuclear. En marzo de 2011, colapsan 3 reactores en Japón, precipitando las cosas en contra de la nuclear. Merkel, presionada por los grupos antinucleares, ordenó el cierre inmediato de 8,000 MW de potencia nuclear y el cierre definitivo de todas las demás centrales para el año 2022. Esa decisión le costó enfrentar una serie de demandas en los tribunales por más de 20,000 millones de dólares que reclamaban las empresas propietarias de los reactores que fueron cerrados de forma anticipada. Posteriormente, en 2015 el gobierno alemán cerró un reac-

15. Edgar.indd 341 12/17/19 16:43

tor en Grafenrheinfeld, con capacidad de 1,300 MW y en 2017 ordenó apagar otro reactor en Gundremmingen, con capacidad de 1,300 MW.

El programa Energiewende también sentenció a muerte a las centrales carboeléctricas, sin embargo, las medidas no serán tan rápidas como para la nuclear, ya que el cierre definitivo de todas las centrales de carbón está programado para el año 2038, tiempo suficiente para que los actuales gobernantes no figuren en la vida pública del país y sean otros, los que tengan que lidiar con el reto de cerrar esas centrales que aportan 230 TWh/año.

En Alemania tiene una capacidad instalada de solar de 45,000 MW de potencia, que aporta anualmente 46 TWh. La eólica cuenta con 60,000 MW de potencia instalada, la cual genera 111 TWh al año. Sin embargo, la generación de carbón se ha mantenido estable. Se han cerrado únicamente 3,000 MW de centrales del llamado "Hard Coal" y se han conservado la mayoría de las centrales de carbón de lignito.

El empuje de la renovable no ha sido suficiente para lograr los objetivos de reducción de las emisiones, Alemania planea posponer la meta de reducción de emisiones del 40% que estaba programada para el año 2020. El problema para cumplir con la reducción de emisiones, es que el sector energético alemán genera un tercio de las emisiones. El carbón, el gas natural y el diésel siguen teniendo una participación importante en el balance eléctrico.

La energía eólica en Alemania está enfrentando una serie de graves problemas que van a repercutir en el ritmo de su futura expansión: primero, la ocupación superficial del territorio apto para viento está llegando al punto de saturación, la mayor parte de las mejores áreas ya han sido ocupadas; segundo, se han construido más de 30,000 turbinas y, aún así, su aporte es marginal, lo que pone en duda su efectividad; tercero, los subsidios están siendo restringidos; cuarto, alrededor de 5,000 turbinas tendrán que ser desmanteladas porque llegarán a fin del ciclo de vida en 2020 (Neumann, 2018); quinto, el exceso de generación de la eólica está distorsionando el mercado eléctrico europeo y; sexto, la resistencia de las comunidades ha impugnado en tribunales la mayor parte de los nuevos proyectos.

Alemania no ha logrado cerrar sus centrales de carbón que hoy aportan el 35% de la electricidad a pesar del fuerte impulso a la transición energética a fuentes renovables, la energía eólica aporta el 18% de la demanda de electricidad pero únicamente el 3.1% del consumo primario de energía, la solar está en una situación similar, aporta únicamente el 1.5% (Clean Energy Wire, 2019). La intermitencia de la eólica y renovable tiene que ser respaldada por centrales nucleares, de carbón y de gas. Los subsidios para mantener el complejo sistema eléctrico alemán, lo hacen de los más caros en el mundo. La situación es tan gra-

15. Edgar.indd 342 12/17/19 16:43

ve que en la revista Forbes se citó al programa Energiewende como "The Green Energy Disaster" (Rich, 2013).

VII. LIMITANTES DE LAS RENOVABLES

Se tiende a considerar que la calidad y la capacidad de la energía de las fuentes renovables es similar a la de los combustibles fósiles. Sin embargo, las características de las energías renovables presentan serias desventajas para su uso.

Densidad energética. La base actual de generación eléctrica convencional fósil y nuclear tiene una alta densidad energética superior a los 10 KWh por cada kilogramo de materia, las tecnologías renovables al contrario, tienen una densidad energética muy baja, menor de 5 KWh por m2 para la eólica, de 0.3 KWh por m2 para la solar y de 0.3 KWh por kilo para las baterías (Layton, 2008). Reemplazar la capacidad actual que aportan los combustibles fósiles por fuentes renovables va a implicar la construcción del doble de potencia con fuentes renovables por su baja densidad de energía. Por ejemplo, Alemania cuenta con mayor potencia de renovables, alrededor de 120,000 MW instalado, y con una menor capacidad centrales de combustibles fósiles y nucleares, alrededor de 90,000 MW instalados. Sin embargo, las renovables sólo generan el 37% de la electricidad (225 TWh), por lo que se van a requerir al menos 160,000 MW de potencia instalada con renovables para lograr generar el 50% de la electricidad.

Ocupación superficial y localización de las zonas aptas. La implantación de la eólica y solar requiere de enormes superficies para su despliegue y el potencial no siempre está cerca de los grandes centros de consumo. La tecnología convencional fósil y nuclear permite concentrar en 1 km2 alrededor de 1,000 MW de potencia. En el caso de la solar, solo se pueden instalar 160 MW en 1 km2, y en el caso de la eólica, menos de 50 MW. La expansión de las renovables va a requerir entre 50 y 100 veces más superficie, dependiendo de la tecnología, para reemplazar la infraestructura fósil existente. Bajo esta lógica, es de esperarse una enorme competencia por el suelo de zonas rurales, zonas naturales y reservas ecológicas. Asimismo, se van a representar una mayor cantidad de conflictos sociales con las comunidades. Las tecnologías convencionales fósiles se pueden instalar cerca de los centros de consumo, por el contrario, las regiones aptas para la explotación de renovables se localizan en zonas remotas lejos de las redes de transmisión y de los grandes centros de consumo. Esta condición plantea otro desafío de ocupación superficial por la construcción de nuevas redes de transmisión.

Potencial de las fuentes renovables. Por lo general el potencial de crecimiento de las renovables es considerado como ilimitado e infinito. Sin embargo,

15. Edgar.indd 343 12/17/19 16:43

las áreas con vocación para la energía eólica o solar están perfectamente delimitadas y su distribución en el territorio no es homogénea. El potencial se encuentra disperso y las zonas más productivas tienden a concentrarse puntualmente. En el caso de la hidráulica las zonas más aptas se localizan en el estado de Chiapas, las de la eólica en Oaxaca, Tamaulipas y Yucatán y las de la solar, se encuentran en el noroeste del país.

Frecuencia en la generación de electricidad. El tiempo durante un año en el que una tecnología está disponible y operando al 100% de su potencia nominal, constituye un índice de productividad anual. Las tecnologías convencionales fósiles pueden estar disponibles al 100% de su capacidad nominal durante al menos 7,000 horas al año. Las fuentes renovables no alcanzan esa disponibilidad. El promedio mundial de operación de la hidráulica es de 3,500 horas, el de la eólica es de 2,000 horas y el de la solar es de 1,100 horas. Pero esos promedios no son constantes en todos los países. En Dinamarca la eólica tiene un promedio de 2,700 horas y en China es de 1,600 horas. En México, la hidráulica tiene un promedio de 2,500 horas al año, la eólica de unas 2,500 horas y la solar unas 1,500 horas.

Esto quiere decir que durante más de 6,000 horas al año las renovables no generan electricidad. Esto hace necesario mantener un respaldo permanente para cuando el viento y el sol no están disponibles. Por lo general son centrales de gas, nuclear o de carbón las que intervienen como respaldo.

Variación e intermitencia. La eólica y la solar generan electricidad de forma inestable, las súbitas variaciones provocadas por las ráfagas de viento en las turbinas o por el paso caótico de las nubes sobre los paneles solares, crean bruscas distorsiones en la inyección de electricidad a la red, lo que dificulta su manejo. Es decir, ni cuando están en operación, estas fuentes otorgan una inyección estable a la red eléctrica.

Baja capacidad de predicción. La generación de la eólica y solar tiene baja probabilidad de predecirse con exactitud, y regularmente ésta, no se alinea con las curvas de la demanda de electricidad. Las ciudades no consumen la misma cantidad de electricidad a lo largo del día, por lo general entre las 3 y 4 de la mañana ocurre el punto más bajo de consumo, y por lo regular, el pico de consumo ocurre entre 5 y 6 de la tarde. La curva de generación de electricidad renovable es variable y caótica, presenta variaciones muy agudas que por lo regular no están en sincronía con la demanda de electricidad.

Existen tres tipos de correlación entre la generación renovable y la demanda de electricidad: la primera, ocurre cuando se sincronizan el consumo y la producción de renovables sin existir gran diferencia entre ambas; la segunda, ocurre cuando se desfasan, cuando la demanda de electricidad es baja y la producción renovable es alta, en esta condición se crea un exceso de generación de electri-

15. Edgar.indd 344 12/17/19 16:43

cidad que debe desahogarse de urgencia a otras regiones o países vecinos, de lo contrario se corre el riesgo de un colapso de la red y apagón masivo. Por lo general estos intercambios de electricidad en urgencia, entre regiones o entre países, se realizan a precio negativo y crean distorsiones en el mercado eléctrico y; la tercera, ocurre cuando se desfasan a la inversa, en el momento que la demanda es muy alta y la generación de renovables es baja. Esta condición también puede provocar el colapso total de la red. En esos casos, las centrales de gas, de carbón y nucleares deben compensar la pérdida de capacidad de generación.

Almacenamiento. A diferencia de la hidroeléctrica, que puede almacenar el agua, la eólica y la solar no puede almacenar ni el viento ni la luz del sol. La intermitencia es el más grave problema de la eólica y de la solar. En un intento por resolver este problema se están desarrollando sistemas de almacenamiento de electricidad denominados BESS (battery energy storage systems). Constituyen enormes instalaciones con miles de baterías que sirven para almacenar la electricidad en los momentos de sobre producción de la eólica y la solar. Las baterías más grandes del mundo tienen una capacidad de unos 120 MWh. Una ciudad como Nueva York consume esa electricidad por minuto. Estos sistemas tienen la desventaja de que la eólica y la solar sólo producen electricidad durante unas 2,500 y 1,500 horas al año respectivamente y la mayor parte de ese tiempo la están inyectando a la red, por lo que la carga de las baterías es muy irregular y tiene poca duración. Los equipos actuales están siendo utilizados con mayor frecuencia únicamente para la demanda pico.

Un sistema eléctrico basado en eólica y solar en combinación con baterías es imposible debido, no a un problema de desarrollo tecnológico, sino a un problema físico. La electricidad que consume una ciudad durante un año debe ser generada y almacenada en una sexta parte del tiempo del año. Lo anterior implica disponer de baterías con una capacidad suficiente para abastecer de electricidad durante 6,000 horas.

I**mpacto ambiental**. Las fuentes renovables tienden a ser consideradas "limpias", en esa concepción, pareciera que no comportan ningún impacto colateral para el ambiente o la biodiversidad. Sin embargo, en el caso de la solar, se requiere deforestar toda la superficie de un parque solar para evitar que sean reflejadas sombras de los árboles sobre los paneles. En la Península de Yucatán se están desarrollando alrededor de 12 centrales solares que implican la deforestación de selva media, un ecosistema vital para la biodiversidad regional.

Los parques solares se están instalando también en el desierto para evitar la deforestación. Sin embargo, se presenta otro grave problema que tiene que ver con el uso del agua. Los desiertos tienen las peores condiciones del planeta en cuanto a polvo y de acceso al agua. El polvo que se deposita sobre los paneles

15. Edgar.indd 345 12/17/19 16:43

solares disminuye en un 30% su producción. Para la limpieza de la superficie de los paneles se requiere mucha agua, un recurso escaso en el desierto.

Las turbinas eólicas por su parte, constituyen una grave amenaza para las especies voladoras; miles de aves, insectos y murciélagos son abatidos cada año en los parques eólicos. Las aspas de una turbina dan la impresión de rotar lentamente, pero los últimos 10 metros de la punta del aspa se desplazan a una velocidad de alrededor de 250 km/h, aniquilando cualquier ave que pase por su radio de acción (Juárez, León, 2014).

Riesgo meteorológico. Por sus características técnicas, las turbinas eólicas y los paneles solares son instalaciones frágiles, los componentes críticos de generación se encuentran expuestos a la intemperie. Las centrales eléctricas convencionales, no presentan esta desventaja, ya que sus componentes críticos están confinados dentro de instalaciones sólidas y robustas.

En el año 2017, toda la infraestructura de energía renovable de Puerto Rico fue arrasada por dos huracanes, los paneles solares fueron arrancados de sus bases o fueron fracturados por objetos que los impactaron y las aspas de las turbinas fueron destruidas. El evento meteorológico en Puerto Rico evidenció la fragilidad de la infraestructura renovable. Desastres similares han ocurrido en otras partes del mundo.

En México se están desarrollando más de 22 proyectos de energía renovable en la península de Yucatán, sin tomar en cuenta que esta región constituye una de las zonas señaladas por el CENAPRED como de alto riesgo al impacto de huracanes.

Flujo limitado. En el sentido estricto, la biomasa es renovable sólo si permite la regeneración de las reservas forestales, de lo contrario no es renovable. El volumen de reserva de biomasa que existe en el planeta es limitado y no puede crecer. Por lo tanto, sólo se puede disponer y aprovechar de forma sostenible un flujo limitado de la biomasa proveniente de los bosques y selvas, si respetan los ciclos naturales de regeneración. Los suelos agrícolas destinados a la producción de bio-combustibles y biomasa no son renovables porque dependen del consumo constante de derivados del petróleo para producir.

Las energías hidráulica, eólica y solar están subordinadas bajo esta misma condición de flujo limitado. La capacidad de agua, viento y sol es un flujo limitado que no crece, puede tener variaciones interanuales, pero presenta un comportamiento promedio constante. En México la generación eléctrica de la hidráulica es más o menos constante y aporta 32 TWh/año, pero en un ciclo de sequía puede bajar a 24 TWh/año.

15. Edgar.indd 346 12/17/19 16:43

DIMENSIONANDO LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA

La transición energética, solo se ha concretado, en parte, únicamente en el sector eléctrico mundial y no ha modificado sustancialmente la matriz eléctrica que continúa siendo dominada en un 70% por los combustibles fósiles. El sector con mayor consumo y emisiones, el transporte; sigue prácticamente inamovible, y sus soluciones (entre otras el vehículo eléctrico) lejos de solucionar el problema, generarían más inconvenientes, como el incremento exponencial de la demanda eléctrica, el aumento de la demanda de materias primas y la sobre explotación de minería para baterías.

VIII. EL POTENCIAL DE LAS RENOVABLES EN MÉXICO

DIMENSIONANDO EL RETO ELÉCTRICO DE LA RENOVABLE

Hoy, México consume anualmente cerca de 5,400 Pj que son abastecidos en un el 90% por medio de combustibles fósiles, el 6% proviene de la quema de leña que se utiliza de forma tradicional en las comunidades rurales del país y el resto (4%) es abastecido por la combinación de la nuclear, hidráulica, solar, eólica, geotermia y biomasa. El consumo de electricidad anual es de 330 TWh/año. La parte eléctrica representa sólo el 17% del consumo de energía total del país.

Para que el sector de energía de México sea 100% renovable, es necesario electrificar todas las áreas económicas del país, es decir, se requiere volver eléctricos aviones, barcos, trenes, autos, camiones, fundiciones, calentadores, estufas, calderas, maquinaria, etc. Todo tendría que electrificarse debido a que las renovables aportan únicamente electricidad, con excepción de los biocombustibles y la solar térmica.

¿Cuánta electricidad es necesaria entonces? Los combustibles fósiles aportan alrededor de 5,000 Pj al año, que equivalen a 1,400 TWh/año de electricidad. Actualmente la generación eléctrica renovable en el país es de apenas 52 TWh/año. Según las estimaciones de la SENER las renovables tienen un potencial de crecimiento de entre 400 y 600 TWh/año (SENER, 2016). Esto quiere decir que no existe la posibilidad de que nuestro país logre un modelo energético 100% renovable, debido a que el potencial máximo es de unos 600 TWh/año y se requieren 1,400 TWh/año.

El alcance de la transición energética a fuentes renovables en México estará entonces, restringido al consumo eléctrico o aquel consumo que se pueda volver eléctrico en el futuro. Las fuentes renovables, para tener un mayor efecto, tienen que ser acompañadas por una fuerte reconversión a "todo eléctrico" en todos los

15. Edgar.indd 347 12/17/19 16:43

ámbitos económicos del país, lo que implica costos enormes para la sociedad y para el estado.

Del consumo nacional de electricidad (330 TWh/año), el 54% se genera con centrales de gas, el 18% con centrales que queman derivados del petróleo, el 10% con centrales carbo-eléctricas, el 10% con centrales hidroeléctricas, el 6% con el resto de las renovables y el 3% con nuclear. Es decir, el parque eléctrico nacional es un 84% fósil-nuclear y un 16% renovable.

LA BRECHA CONSUMO-PRODUCCIÓN DE ENERGÍA

La demanda nacional de energía está creciendo mientras que en sentido opuesto, la capacidad de producción nacional está disminuyendo. La brecha está siendo cubierta con importaciones y la situación tiende a agravarse con el tiempo. Tanto la producción de petróleo, así como la de gas, se encuentran en declinación desde 2004 y 2009 respectivamente. Lo anterior tiene como efecto que las importaciones de combustibles y de gas de los Estados Unidos estén aumentando de forma sostenida desde el año 2012. En el caso de los combustibles, el abandono de la infraestructura de refinación también es una causa importante del aumento de las importaciones.

El consumo promedio diario de carburantes en México fluctúa entre 1 y 1.2 millones de barriles al día, de los cuales, se importan diariamente de los Estados Unidos 0.7 millones de barriles al día. En el caso del gas, se consumen cerca de 9,000 millones de pies cúbicos diarios, de los cuales, se importan de Estados Unidos 6,000 mmpcd. La generación de electricidad consume alrededor de 4,000 mmpcd, esto quiere decir que la mitad de la electricidad de México dependa del gas importado de Estados Unidos.

PROYECCIÓN 2050 DE LA DEMANDA DE ENERGÍA

El comportamiento tendencial de crecimiento de la demanda de energía en México es del 2% anual y en el caso de la demanda de electricidad es del 3% anual. La proyección futura de las necesidades de energía del país, a esos ritmos de incremento, llevaría al consumo nacional a 10,000 Pj por año y a 600 TWh/año para el 2050. Además, dependiendo del éxito en la incorporación de vehículos eléctricos, la demanda eléctrica podría ser mayor y alcanzar los 1,000 TWh/año en 2050.

La meta de generación de electricidad de la SENER para el 2050 supone que el 50% sea a través de fuentes limpias (renovable y nuclear), por lo que se tendrían que generar alrededor de 500 TWh/año con fuentes limpias. Hoy se

15. Edgar.indd 348 12/17/19 16:43

producen sólo 65 TWh al año de electricidad con renovables y nuclear, de los cuales 32 TWh provienen de la hidráulica, 10 TWh de la nuclear, 10 TWh de la eólica, 6 TWh de la geotermia y el resto (7 TWh) es la aportación combinada de la solar, cogeneración y biomasa.

POTENCIAL RENOVABLE EN EL BALANCE 2050 DEL SECTOR ELÉCTRICO

Para establecer un porcentaje de la participación de cada una de las fuentes de energía en el balance de la generación eléctrica de México hacia el 2050, depende básicamente del potencial máximo de crecimiento de las renovables, después del cual, ya no podrán crecer. A partir de ese plafón prospectivo máximo, el resto debe ser cubierto por combustibles fósiles.

HIDRÁULICA Y GEOTERMIA BAJA POSIBILIDAD DE CRECER

La energía hidráulica y la geotérmica en México son tecnologías maduras que se han desarrollado en el territorio nacional desde hace más de 100 años y 50 años respectivamente, ya se han ocupado las áreas más aptas para ambas tecnologías. En ese sentido, el exdirector de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), Alfredo Elías Ayub, confirmó en 2017 que la hidráulica tiene poca capacidad de crecimiento y el consultor en geotérmica, el Dr. Luca Ferrari, adscrito al Centro de Geociencias de la UNAM, afirma que la mayor parte de los mejores yacimientos geotérmicos ubicados en el país ya se encuentran en explotación y existe poca capacidad de crecimiento.

Las estimaciones de la SENER indican que la hidráulica podría crecer hasta generar unos 40 TWh/año y la geotermia a unos 52 TWh/año. La geotermia en nuestro país genera actualmente 6 TWh/año. La estimación de la SENER para la geotermia parece algo optimista si se compara con los 80 TWh/año que hoy se producen en el mundo con esta fuente. Es difícil que México pueda replicar el esfuerzo que se ha realizado en todo el mundo en los últimos 50 años para alcanzar el potencial de 52 TWh en 2050. Una estimación más objetiva para el potencial futuro de la geotermia en México sería de unos 10 TWh/año.

Para alcanzar el potencial de generación de la hidráulica señalado por la SENER, sería necesario construir por lo menos 4,000 MW que corresponde a unas 16 nuevas en presas del tamaño de "Chicoasén II" con capacidad de 250 MW cada una. Además, se requiere mejorar el resto de las presas existentes. El aporte combinado máximo probable de estas dos fuentes es de 50 TWh/año.

15. Edgar.indd 349 12/17/19 16:43

EÓLICA, SOLAR Y BIOMASA; MAYOR POTENCIAL

Considerando las estimaciones del Atlas de Zonas de Energías Limpias (AZEL) de la SENER, el potencial máximo de crecimiento de la energía solar es de entre 200 y 300 TWh/año. Existen estimaciones que consideran que se podrán generar hasta unos 750 TWh/año con solar. Sin embargo, son estimaciones exageradamente optimistas ya que la generación mundial con solar en 2018 fue de 500 TWh/año. Es poco probable que México pueda replicar todo el esfuerzo combinado que se ha realizado en el mundo en las últimas 3 décadas para alcanzar en 2050 una generación de 750 TWh/año. Para el presente trabajo se considera un potencial máximo de 200 TWh/año para la solar.

El potencial máximo de la eólica estimado por la SENER es de unos 90 TWh/año y el de la biomasa de 10 TWh. Estas estimaciones están en concordancia con lo que en otras regiones del mundo se ha podido alcanzar con estas fuentes. El potencial combinado de estas 3 fuentes renovables podría ofrecer alrededor de 300 TWh/año.

EL 50% DE ENERGÍAS LIMPIAS DEL PARQUE ELÉCTRICO

Suponiendo que la demanda de electricidad de México llegara a unos 1,000 TWh/año en 2050, las energías limpias deben aportar la mitad, para cumplir con la meta fijada por la SENER, es decir, 500 TWh/año. Suponiendo que se alcance el potencial máximo de cada una de las fuentes renovables, la aportación sería la siguiente: de hidráulica y geotermia 50 TWh/año, y eólica, solar y biomasa otros 300 TWh/año. De esa forma, el resto, 150 TWh, tendrán que venir de la nuclear. Para generar 150 TWh/año con nuclear se requieren 14 nuevas centrales, similares a la que existe en Laguna Verde. Esto implica abrir el debate sobre la expansión de esta controvertida tecnología en México. En caso de que no se permitiera la continuidad de la nuclear en México, 150 TWh tendrían que ser generados por alguna otra fuente, ya sea gas, carbón o combustóleo.

EL 50% NO RENOVABLE DEL PARQUE ELÉCTRICO

Si la demanda de electricidad nacional llegara a 1,000 TWh/año en 2050, la política energética de 50% de generación con energías limpia y 50% con fósil, no tendrá ningún impacto en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en nuestro país, ya que la generación actual con combustibles fósiles es de 270 TWh/año y en el escenario planteado para el 2050, debe crecer a 500 TWh/año y, peor aún, en caso de que no pudiera ampliarse la aportación de la nuclear, serían 650 TWh/año.

15. Edgar.indd 350 12/17/19 16:43

IX. INFRAESTRUCTURA RENOVABLE EN 2050

Para generar 90 TWh/año con energía eólica se requiere instalar alrededor de 45,000 MW de potencia, considerando una productividad de 2 GWh/año por cada MW. Se tendrían que instalar alrededor de 15,000 turbinas de 3 MW cada una. Para alcanzar una generación de 200 TWh/año con energía solar se requieren unos 140,000 MW de potencia instalada a razón de 1.5 GWh al año por cada MW instalado. Lo anterior implica ocupar unos 880 Km2 con paneles solares, a razón de 160 MW que se pueden instalar por Km2.

El costo de la infraestructura eólica y solar podría llegar a los 200,000 millones de dólares a razón de 1 millón de dólares por cada MW instalado. Además, según la experiencia mundial, se requieren centrales de gas para respaldo de la eólica y solar con una capacidad de 2 tercios de la potencia instalada de renovables, es decir, serían necesarios alrededor de 123,000 MW de centrales de ciclo combinado a gas, lo que provocaría un aumento exponencial de las importaciones de gas de los Estados Unidos. El monto de construcción de respaldo puede agregar otros 150,000 millones de dólares.

Para generar 150 TWh/año con energía nuclear, se tendrían que agregar alrededor de 25,000 MW de potencia en 14 centrales nuevas, similares a la de Laguna Verde en Veracruz. El costo de esta infraestructura podría superar los 180 mil millones de dólares.

Para el caso de la hidráulica, se requiere la construcción de unos 4,000 MW de potencia en unas 16 presas similares a la de Chicoasén II y para el caso de la geotermia, se requiere de la construcción de unos 475 MW de potencia. Los costos de ambas fuentes podrían alcanzar los 50,000 millones de dólares. En el caso de la biomasa, sería necesario la construcción de 3,000 MW de potencia con un costo aproximado de 12,000 millones de dólares.

El monto aproximado de inversión para la infraestructura renovable del sector eléctrico mexicano puede superar fácilmente los 600 mil millones de dólares en este escenario, sin considerar los costos de ampliación de redes de transmisión, compra o renta de suelo y modernización del sistema eléctrico para gestionar la interconexión de las renovables.

X. CONCLUSIONES

Si en la formulación de la política energética de México no se consideran los límites bio-físicos que condicionan el acceso a la energía, no se tomarán las medidas correctas para construir un modelo energético sostenible en el futuro. Las metas y acciones planteadas en los programas de energía del país son formulaciones aritméticas muy básicas, basadas en la relación territorio-potencia en donde no

15. Edgar.indd 351 12/17/19 16:43

se están tomando en cuenta las limitantes físicas, técnicas, sociales y ambientales que subordinan el acceso a la energía. Tampoco se está considerando las evidencias del comportamiento tendencial del consumo mundial, ni la experiencia que algunas naciones están padeciendo en el montaje de programas de energía basados en fuentes renovables.

México tiene dos opciones ante este desafío, una es continuar satisfaciendo, a como dé lugar, el crecimiento de la demanda y llevar al límite la capacidad de producción de energía del país, o por el contrario, puede implementar acciones para la reducción del consumo de energía en términos absolutos para hacerlo coherente con la disponibilidad de energía nacional, por medio de medidas eficaces en todos los sectores, pero de forma más sustencial, en el sector del transporte, el cual que representa el 50% del consumo de energía en México.

El transporte en México es el sector en donde más incoherencias energéticas existen. Alrededor de 40 millones de vehículos circulan en el territorio nacional ocasionando un enorme despilfarro de energía en actividades superfluas y sin sentido.

Áreas de oportunidad para realizar reducciones en el consumo de energía:

- Reducir la velocidad máxima a 90 km/h en autopistas y carreteras nacionales a través de un control efectivo, integrado en los instrumentos de control de velocidad de los vehículos.
- Reducir el tamaño, el número de plazas y el peso de los automóviles privados.
- Reducir la potencia de los motores de los vehículos privados y reducir la velocidad máxima que pueden desplegar a 100 km/h.
- Robustecer las redes del transporte colectivo y en la medida de lo posible transformarlas a eléctricas, pero no con uso de baterías, sino redes de distribución.
- Rediseñar las vialidades de las grandes ciudades para dar preferencia al transporte colectivo, carriles para bicicletas y pasos peatonales.
- Reforzar las iniciativas y aplicaciones móviles para compartir el transporte privado.
- Escalonar los horarios de entradas al trabajo y a las escuelas.
- Promover programas que permitan disminuir la distancia hogar-trabajo para los trabajadores.
- Impulsar métodos de producción y consumo de alimentos con baja dependencia a los combustibles fósiles, como la agroecología, el cultivo urbano de huertas y el consumo local.
- Instalar infraestructura renovable sólo en aquellas zonas que garanticen al menos 3 GWh por cada MW instalado para la eólica y al menos 2 GWh para la solar, evitando la deforestación y restringiendo su instalación en zonas de riesgo por impacto de huracanes.

15. Edgar.indd 352 12/17/19 16:43

- Generación de electricidad distribuida gestionada por las propias comunidades.
- Implementación de un programa masivo para el reemplazo del gas para calentar agua en los hogares por medio de la instalación de calentadores solares.
- Implementar un programa masivo para la reducción de la generación de residuos urbanos para disminuir la necesidad de camiones para la recolección de la basura.

La construcción de una sociedad más sobria en el consumo de energía requiere de una etapa previa de transición que permita la adaptación progresiva de los sectores existentes, para amortiguar los desequilibrios que implica el reacomodo de las actividades económicas a una nueva condición de bajo consumo energético.

XI. REFERENCIAS

Álvarez Pelegry, Eloy, Ortiz Martínez, Iñigo, Menéndez Sánchez, Jaime, 2016, The German energy transition (Energiewende), Energy Chair of Orkestra. Disponible en: https://www.orkestra.deusto.es/images/investigacion/publicaciones/informes/cuadernos-orkestra/Energiewende_English.pdf

BP Energy Outlook 2019 edition. Disponible en: https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2019.pdf

Bradley E. Layton, Comparison of Energy Densities of Prevalent Energy Sources in Units of Joules per Cubic Meter, International Journal of Green Energy. Págs. 438-455. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/233231163_A_Comparison_of_Energy_Densities_of_Prevalent_Energy_Sources_in_Units_of_Joules_Per_Cubic_Meter

Chelsea Harvey, 2018, CO2 Emissions Reached an All-Time High in 2018, Cientific American. Disponible en: https://www.scientificamerican.com/article/co2-emissions-reached-an-all-time-high-in-2018/

Clack, Christopher T. M., 2017. Evaluation of a proposal for reliable low-cost grid power with 100% wind, water, and solar. The Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS).

Clean Energy Wire, 2016, Open-pit lignite mine Garzweiler, Disponible en: https://www.cleanenergywire.org/hotspots/open-pit-lignite-mine-garzweiler

Clean Energy Wire, 2018, Germany on track to widely miss 2020 climate target – government, Disponible en: https://www.cleanenergywire.org/news/germany-track-widely-miss-2020-climate-target-government

15. Edgar.indd 353 12/17/19 16:43

Clean Energy Wire, 2019, Germany's energy consumption and power mix in charts. Disponible en: https://www.cleanenergywire.org/factsheets/germanys-energy-consumption-and-power-mix-charts

Clean Energy Wire, 2018, German coalition negotiators want to postpone 2020 climate goal, Disponible en: https://www.cleanenergywire.org/news/german-coalition-negotiators-want-postpone-2020-climate-goal-media

Dormehl, Luke, 2019. Europe's free land could house enough wind turbines to power the world, 2019. Revista Digital Trends. Disponible en: https://www.digitaltrends.com/cool-tech/europe-wind-power-the-world/?fbclid=IwAR2rkdjX8SE-io9ccS0hSU55Ii51UCL0Q9Ta9ShcqEvAajbAiiZHzc7xu9I

International Energy Agency, World Energy Outlook 2018.

IRENA, banco de datos del sitio web oficial. Consulta en: https://www.irena.org

IRENA, 30 Years of Policies for Wind Energy; Lessons from 12 Wind Energy Markets, 2012. Disponible en: https://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_GWEC_WindReport_Full.pdf

Jacobson, Mark, 2017, 100% Clean and Renewable Wind, Water, and Sunlight All-Sector Energy Roadmaps for 139 Countries of the World, Septiembre 2017, Elsevier Inc.. Págs. 2.

Jancovici, J. M., Ah, la vache !. En artículos de prensa en internet. www.jancovici.com. Disponible en: https://jancovici.com/publications-et-co/articles-de-presse/ah-la-vache/

Juárez-Hernández, S., León, G., Energía eólica en el istmo de Tehuantepec: desarrollo, actores y oposición social. . Revista Problemas del Desarrollo, 178, (45), julio-septiembre 2014

Neumann, H., Wind energy: Decommissioning wave is rolling towards Germany, TopAgrar on line, 2018. Disponible en: https://www.topagrar.com/energie/news/windenergie-rueckbauwelle-rollt-auf-deutschland-zu-9382279.html

Normile, Dennis, Bucking global trends, Japan again embraces coal power, Science 2018. Disponible en: https://www.sciencemag.org/news/2018/05/bucking-global-trends-japan-again-embraces-coal-power

Ocampo, Edgar. (2014). Shale, una visión escéptica, Revista Energía a Debate, Ciudad de México, año 10, No. 62, Mayo/junio 2014. Págs. 56-60. Disponible en: http://inergy.lat/images/shalevisionesceptica.pdf

Oliveira, L.G., Hira, A., The Evolution and Replicability of Biofuels in Brazil: Model or Exception?, 2008. Disponible en: https://www.wilsoncenter.org/sites/default/files/de%20Oliveira%20-%20final%20version%20-%20The_Evolution_and_Replicability_of_Biofuels_in_Brazil2.pdf

Howard Rich, revista Forbes, 2013. Disponible en: https://www.forbes.com/sites/realspin/2013/03/14/germanys-green-energy-disaster-a-cautionary-tale-for-world-leaders/#23460a4754e9

15. Edgar.indd 354 12/17/19 16:43

SENER, Prospectiva de Energías Renovables 2016-2030.
Shearer, C., Mathew-Shah, N., Myllyvirta, L., Yu, A., Nace, T., 2019. Boom and Bust 2019, Tracking the Global Coal Plant Plant.
Tiezzi, Enzo, 2018. La Revolución Verde, Tragedia en dos Actos, Revista Ciencias, No. 91. Mayo 2019.

15. Edgar.indd 355 12/17/19 16:43

Importancia de la revaloración de residuos para la generación de energía en México

Salvador Carlos Hernández*
Lourdes Díaz Jiménez

SUMARIO

I Introducción II. Generación y manejo de residuos industriales III. Combustibles fósiles y su contraparte renovable IV. Oportunidades para la generación de energía V. Mecanismos de aprovechamiento VI. Reflexiones finales VII. Referencias

I. INTRODUCCIÓN

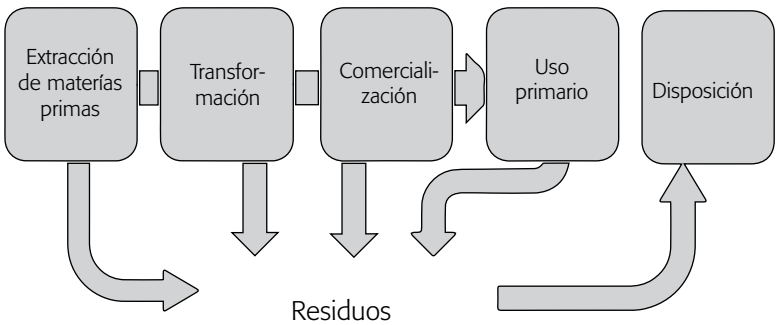
El desarrollo industrial permite generar los productos que satisfacen las crecientes necesidades de la sociedad actual. El estilo de vida consumista adoptado por la mayoría de las personas exige altos niveles de producción incidiendo directamente en la ley de la oferta y la demanda. Si bien esta situación favorece una economía dinámica, también requiere una excesiva transformación de materias primas en la que se producen grandes cantidades de subproductos o residuos (Silpa, Yao, Bhada-Tata, Van Woerden, 2018).

El proceso de transformación de los recursos naturales pasa por diversas etapas antes de llegar al usuario final en forma de producto o servicio; en cada una de ellas se generan materiales residuales, los cuales requieren ser tratados antes de reintegrarse a los ecosistemas. Esta situación se ilustra en el esquema de la Figura 1.

* Investigadores CINVESTAV del IPN, Unidad Saltillo / Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía (SRNyE) / Laboratorio de Revaloración de Residuos.

16. Salvador.indd 357 12/17/19 16:43

Figura 1
Generación de residuos en la cadena de producción tradicional



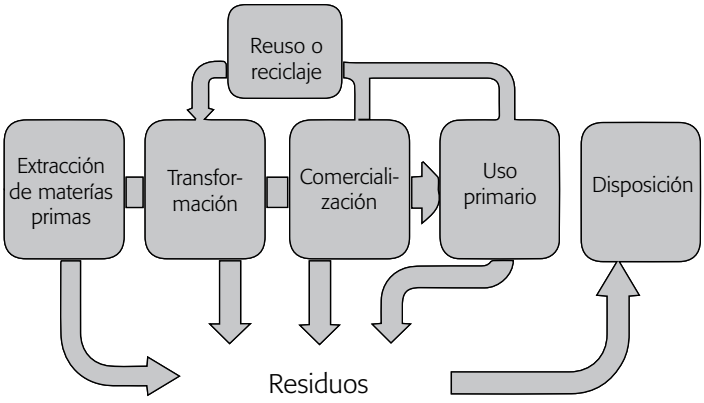
En las cadenas de producción tradicionales, la generación de materiales residuales no suele considerarse como parte del ciclo de vida del producto, por lo que se asocia a una etapa paralela en la que el productor se desprende de tales materiales, en el mejor de los casos los dispone y luego se olvida de ellos. Desafortunadamente, en muchas ocasiones, el tratamiento de los residuos es incompleto o ineficiente, representando riesgos ambientales y sociales. Por esta razón es necesario contar con mecanismos adecuados de gestión de residuos.

En años recientes, los materiales residuales han adquirido relevancia en el contexto de la economía del reciclaje y la economía circular (Olabi, 2019), (Sillanpää, Ncibi, 2019).A diferencia de la economía lineal o tradicional (representada en la Figura 1), la economía del reciclaje (Figura 2) incluye etapas de reuso y reciclaje que implica una nueva transformación de los materiales permitiendo extender la cadena de valor. Es conveniente recordar en este punto que la reutilización se refiere al uso de producto en una función diferente para la cual fue creado sin transformación o con adaptaciones mínimas; el uso de un envase de vidrio de mayonesa como contenedor de lápices es un ejemplo de reutilización. Por su parte, el reciclaje consiste en la transformación de los materiales de un producto para generar uno nuevo; el uso del vidrio de un envase de mayonesa para crear ventanas es un ejemplo de reciclaje.

En la práctica, la aplicación del reuso y el reciclaje, además de la reparación de materiales y los procesos de revaloración, da forma a la economía circular. Este concepto, representado en la Figura 3, plantea la producción, transformación y aprovechamiento integral de recursos minimizando, de manera global, la generación de residuos. Esto implica que los materiales residuales generados en las diferentes etapas del ciclo de vida de un producto sean reciclados o reutilizados de manera sistemática. Con la introducción de las etapas de reparación, reuso,

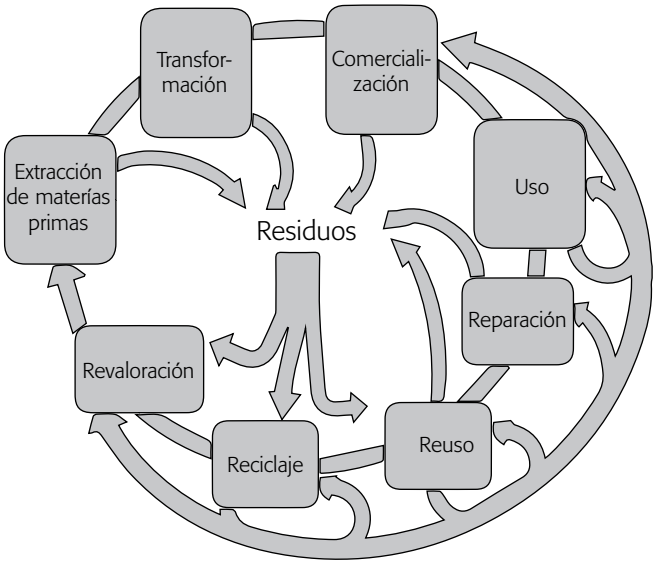
16. Salvador.indd 358 12/17/19 16:43

Figura 2
Esquema general de la economía del reciclaje



reciclaje y revaloración se consigue que "uso primario" sea sustituido por el "uso"; en efecto, se busca que los materiales sean transformados una y otra vez, eliminando también la etapa de disposición. En este sentido, la revaloración tiene dos objetivos: transformar los materiales en nuevos productos y reincorporar al ecosistema, para convertirse otra vez en materia prima, los materiales que han pasado varias veces por las diferentes etapas del ciclo.

Figura 3
Esquema conceptual de la economía circular



16. Salvador.indd 359 12/17/19 16:43

Entre las estrategias para el aprovechamiento de los residuos industriales se encuentra la transformación por vía biológica o termoquímica para la generación de productos con valor energético. Esta es una alternativa especialmente importante en el contexto actual, puesto que la matriz energética de la mayoría de los países se basa en el aprovechamiento de combustibles fósiles. Diversos autores han determinado que el uso de tales combustibles genera grandes cantidades de gases de efecto invernadero contribuyendo a problemáticas globales como el cambio climático. En este sentido, se han firmado diversos acuerdos internacionales para implementar estrategias que permitan reducir las emisiones de gases de efecto invernadero; entre dichas estrategias se encuentra la sustitución de combustibles fósiles por fuentes renovables de energía; entre los acuerdos más recientes se encuentra la Agenda 2030. Además del viento, el sol, el agua, el calor terrestre y los recursos del mar, los materiales residuales han comenzado a considerarse como un recurso importante para la generación de energía. La importancia de los residuos radica en su triple beneficio: reduce el impacto ambiental porque los materiales residuales son dispuestos para un beneficio adicional, se genera energía contribuyendo con la transición energética y genera beneficios económicos porque extiende la cadena de valor de los recursos naturales.

Así, en este capítulo se abordan algunos de los aspectos más relevantes de la transformación de residuos industriales en aplicaciones del sector energético en México. Se presentan puntos relacionados con la generación de residuos; se describen las diferentes vías para la obtención de productos con valor agregado para el sector energético (combustibles líquidos, sólidos y gaseosos). Para finalizar, se mencionan con las conclusiones obtenidas de esta investigación.

II. GENERACIÓN Y MANEJO DE RESIDUOS INDUSTRIALES

La generación y manejo de residuos ha sido una situación presente a lo largo de la historia. El asentamiento de comunidades ocasionó la acumulación de desechos. Con el paso del tiempo, la transformación de los recursos naturales para satisfacer las necesidades básicas de la sociedad fue en aumento y poco a poco la acumulación de residuos quedó fuera de control. Entonces surgió la necesidad de elaborar estrategias para reducir el impacto social y ambiental negativo que se fue generando en consecuencia. Entre los primeros registros de mecanismos para el manejo de residuos sólidos se encuentran los implementados en Grecia en el siglo V A.C.; cada ciudadano era responsable de recolectar sus propios desechos y llevarlos a un lugar adecuado (McBean, Rovers, Farquhar, 1995). Alrededor del año 500 D.C., también en Grecia, se establecieron los primeros tiraderos de basura, los cuales se ubicaban a al menos 1.5 km de distancia del asentamiento urbano (Crowell Barbalace, 2019). El primer servicio de recolección

16. Salvador.indd 360 12/17/19 16:43

de basura fue instaurado en el antiguo imperio Romano; un comité especializado recogía los desechos que los ciudadanos arrojaban a las calles para ser llevados a un pozo, el cual se ubicaba comúnmente en el centro de la población (McBean, Rovers, Farquhar, 1995). Otra serie de sucesos relevantes ocurrió en Estados Unidos: entre 1762 y 1769, un comité de Filadelfia liderado por Benjamin Franklin intentó regular la disposición de residuos así como la contaminación del agua; en 1867 los legisladores de Pennsylvania rechazaron una ley que promovía regular la contaminación del agua, así como los vertederos de basura en el río Delaware, lo cual atentaba contra la salud pública (Magoc, 2006); en 1885 se construyó el primer incinerador de basura en Nueva York (Crowell Barbalace, 2019). Así, hasta el año 1900 en los Estados Unidos los desechos eran depositados directamente sobre la tierra y a partir de 1910 se comenzaron a desarrollar metodologías para crear rellenos sanitarios (McBean, Rovers, Farquhar, 1995).

La revolución industrial promovió la mecanización de los sistemas de producción, lo cual permitió un aumento en la productividad. No obstante, la alta tasa de transformación de recursos naturales ocasionó también un aumento en la generación de residuos derivadas del sector industrial. Algunas empresas buscaron convertir sus materiales residuales en productos que redituaban beneficios económicos, lo que se conoció como "residuos comerciales" (del inglés "trade wastes"); sin embargo, la mayoría de las empresas minimizaban o ignoraban los efectos negativos de sus residuos. Una de las razones era la ausencia de regulaciones oficiales respecto a la disposición de estos materiales. El manejo de residuos industriales comenzó a atenderse de manera legal hasta la segunda mitad del siglo XX (Tarr, 2002). Hoy en día, se identifica a las actividades industriales como un aspecto imprescindible de la civilización, puesto que de ellas emanan los bienes, servicios y materiales que promueven el crecimiento económico y permiten el estilo de vida actual de la sociedad. No obstante, también se reconoce que el sector industrial genera una variedad importante de desechos (gases, agua residual, residuos alimenticios, follaje, bagazos, plásticos, papel, metales, chatarra, aceites, grasas, solventes, madera, tierra, concreto, etc.), lo cuales pueden provocar impactos negativos en el medio ambiente, así como riesgos a la salud. Por tal motivo, se han implementado regulaciones para controlar y minimizar los impactos de los residuos industriales, con lo que se espera promover un modelo de producción industrial limpia y sostenible (Tarr, 2002), (European Environment Agency, 2019).

En México, el control de los residuos sólidos municipales (RSM) inició desde antes de la conquista. No obstante, los primeros estudios técnicos formales se realizaron en la segunda década de siglo XX, cuando se efectuaron experimentos de pulverización de residuos sólidos para destinarlos a abono agrícola [9]. En la década de 1960 ocurrieron los primeros intentos para el control de los RSM

16. Salvador.indd 361 12/17/19 16:43

por parte de la Comisión Constructora e Ingeniería Sanitaria, de la Secretaría de Salubridad y Asistencia. Con esta Comisión inició la incorporación de técnicas y métodos de ingeniería para tratar de solucionar el creciente problema de los residuos sólidos. En 1960 se instaló el primer relleno sanitario del país en la ciudad de Aguascalientes; entre 1961 y 1971, se generaron planes integrales de recolección y disposición de los residuos sólidos municipales en las principales capitales de los estados de la república. Entre 1973 y 1976 la Secretaría de Salubridad y Asistencia, a través de la Subsecretaría del Medio Ambiente, inició un programa a nivel nacional para proporcionar asesoría y desarrollar los proyectos ejecutivos de manejo y disposición final de residuos municipales de las ciudades de Acapulco, Tijuana, Mexicali, Saltillo, Cd. Juárez, Tuxtla Gutiérrez, Monterrey y Ensenada. También se impartieron los primero cursos de capacitación para personal de los municipios y se desarrollaron las primeras instancias para identificar el problema de los residuos sólidos industriales. Entre 1970 y 1982 la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas elaboró normas técnicas para el control de los residuos sólidos municipales. En 1982 se creó la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE); así, las atribuciones en el área de control de residuos municipales se adjudicaron a la Subsecretaría de Ecología. Este organismo implementó a partir de 1983 el programa RS100, el cual consistió en la elaboración de proyectos ejecutivos de relleno sanitario en las ciudades mayores de 100,000 habitantes. Además, se elaboraron los manuales de diseño de rellenos sanitarios y los programas de diseño de rutas de recolección mediante el uso de programas computacionales. Actualmente existen más de 100 rellenos sanitarios a lo largo del territorio nacional, de los cuales, el de Bordo Poniente en la Ciudad de México es considerado el más grande.

En materia de regulaciones, la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR) y su respectivo reglamento se encargan de la clasificación y de los lineamientos de gestión de los residuos. Esta ley define a un residuo como un material (sólido, semi-sólido líquido o gas) desechado, que puede ser susceptible de ser revalorado o que requiere un tratamiento o disposición final. Así, los residuos pueden clasificarse en sólidos urbanos, de manejo especial y residuos peligrosos, aunque es posible elaborar clasificaciones más precisas. En la LGPGIR se define a los residuos sólidos urbanos los que se generan en casas habitación como resultado de actividades domésticas y de productos consumidos, así como los generados en vías públicas con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos. Los residuos de manejo especial son generados en procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos. Finalmente, los residuos peligrosos poseen características de corrosividad, reacti-

16. Salvador.indd 362 12/17/19 16:43

vidad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o contienen agentes infecciosos. De acuerdo con lo establecido en la ley, los residuos industriales se clasifican como residuos de manejo especial o como residuos peligrosos.

La LGPGIR busca "garantizar el derecho de toda persona al medio ambiente sano y propiciar el desarrollo sustentable a través de la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos peligrosos, de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial; prevenir la contaminación de sitios con estos residuos y llevar a cabo su remediación". Por otro lado, la NOM-161-SEMARNAT-2011, establece los criterios para clasificar a los residuos de manejo especial, entre los que se encuentran muchos de los residuos industriales, y determinar cuáles están sujetos a plan de manejo; la norma también presenta los procedimientos para la formulación de planes de manejo de residuos. En este sentido, ambos instrumentos legales abordan la revaloración de los residuos, buscando promover "mercados de subproductos" que contribuyan en el desarrollo ambiental, tecnológico y económico. Esto implica que la generación de energía a partir de los residuos industriales es un área de oportunidad que debe ser aprovechada por los diversos sectores de la sociedad mexicana.

La cuantificación de la producción de residuos industriales es una tarea compleja debido a la extensión del territorio nacional, la diversidad de industrias y la dificultad de conformar bases de datos actualizables. Durante varios años la SEMARNAT publicaba el Ambiente en números, un reporte anual donde se presentaban estadísticas sobre la situación ambiental, incluyendo datos sobre la generación y la gestión de residuos. La publicación se integró posteriormente a la Base de Datos del Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN), la cuál es vigente en la actualidad. Por su parte, la CONAGUA emite anualmente las Estadísticas del Agua en México, donde se exponen datos sobre el agua, entre los que se encuentran la generación, recolección y tratamiento de aguas residuales, incluyendo información del sector industrial. El Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC), es un instrumento que pretende concentrar y difundir información sobre las emisiones y transferencias de las Sustancias, listadas en la NOM-165-SEMARNAT-2013, que son generadas por los establecimientos participantes y que están sujetos a reporte conforme al marco legal. De esta manera se busca conocer qué sustancias y en qué cantidad es emitida al aire, al agua o al suelo o transferida en los residuos peligrosos y en las descargas de agua al alcantarillado, por las actividades económicas.

A pesar de la implementación de tales estrategias para cuantificar los residuos industriales que se producen en México, es difícil tener un número exacto. Además de la cuantificación, la clasificación de los residuos es importante porque de ello depende la selección de los métodos de transformación para revalorarlos. Para caso de la transformación a productos con valor energético, en la Tabla I se

16. Salvador.indd 363 12/17/19 16:43

muestran ejemplos de residuos industriales generados en el país y un estimado de su cantidad. Si bien no se trata de una lista exhaustiva de los residuos susceptibles de ser transformados para producir energía, los residuos incluidos tienen amplio potencial para producir energía y puede decirse que son representativos del sector industrial nacional en este tópico.

Tabla I
Ejemplos de residuos industriales

Industria	*Residuo*	*Cantidad estimada*	*Referencia*
Agroindustrial	Residuos vegetales	12.7 M ton/año	[10]
Centrales de abastos	Residuos vegetales	~900 ton/dia (CdMx)	[11]
Cervecera	Vinazas	105 M m^3/año	a
Lactea	Lactosueros	355,000 m^3/año (Veracruz)	[12]
Maderera	Aserrín, virutas	2.8 M m^3/año	[13]
Mezcalera	Vinazas	>90 000 m^3/año	b
Nixtamalera	Agua residual	2500 m^3/dia	[14]
Papelera	Agua residual	40 L/s (Saltillo)	[15]
Restaurantera	Aceites y grasas residuales	5000 L/dia (Tijuana)	c
Sacrificio de bovinos	Agua residual	8,026,596 m^3/año	[16]
Tequilera	Vinazas	298.05 m^3 h^{-1}	d
Textil	Retazos	8 ton/día (Tlaxcala)	e

a. Con datos de la Cámara de la Cerveza de México.
b. Con datos del Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal A.C.
c. Con datos de Enremex S.de R.L de C.V. de Tijuana.
d. Con datos del Consejo Regulador del Tequila.
e. Con datos de la Cámara de la Industria Textil Puebla/Tlaxcala.

Además de estos ejemplos en particular, la industria produce agua residual que debe ser tratada y por lo tanto presenta un potencial para la generación de biogás. De acuerdo con la edición 2018 de las Estadísticas del Agua en México, publicadas por la CONAGUA, se tratan 83.7 m^3/s al año mediante plantas de tratamiento industriales, lo que corresponde al 38 % de las aguas residuales no municipales generadas. Aunque no toda el agua residual puede pasar por un proceso de tratamiento que genere energía, existe una oportunidad y necesidad importante respecto al tratamiento de aguas residuales industriales.

16. Salvador.indd 364 12/17/19 16:43

III. COMBUSTIBLES FÓSILES Y SU CONTRAPARTE RENOVABLE

Aunque fuentes renovables como la radiación solar y el viento han ganado terreno en años recientes, los combustibles fósiles siguen dominando el mercado energético mexicano. De acuerdo con el Balance Nacional de Energía 2017, más del 80% de la energía se produce a partir de petróleo, gas natural y carbón mineral. Por lo tanto, es conveniente señalar que cada combustible fósil tiene una contraparte renovable que puede producirse a partir de residuos industriales (Pandey, Larroche, Dussap, Gnansounou, Khanal, Ricke, 2019). El gas natural que se emplea en aplicaciones domésticas como cocción de alimentos y calentamiento de agua, así como a nivel industrial para generación de vapor, calor y otros usos; su contraparte renovable es el biogás, el cual puede obtenerse a partir de residuos orgánicos. La gasolina es el principal combustible para vehículos ligeros y motores de pequeña potencia (podadoras, motonetas, etc) encuentra su contraparte en el bioetanol; la sustitución de gasolina por bioetanol no es viable debido a la necesidad de modificar tanto el sistema de inyección de los motores como de las tuberías de transporte del etanol; no obstante, sí se visualiza como un aditivo para su uso en combinación, lo que permite mejorar la calidad de la gasolina. En la actualidad se emplean mezclas con proporciones que van del 5 al 20 % de bioetanol. El biodiesel es la contraparte del diésel, se obtiene a partir de residuos ricos en grasas; tiene ventajas importantes como el índice de cetano, ausencia de azufre y mejores condiciones de operación; además, el biodiésel puede emplearse en sustitución del diésel sin necesidad de modificaciones en la infraestructura de los motores. También suele emplearse en mezclas en las que se agregan del 5 al 20 % de biodiésel.

Por otra parte, el petróleo es el recurso de donde se obtiene la gasolina y el diésel mediante un proceso de refinación. En este sentido, la biomasa se ha planteado como la contraparte del petróleo ya que de ella es posible obtener biocombustibles en un proceso análogo conocido como biorefinería. Una de las desventajas de la biomasa en este esquema es la menor densidad energética y la dificultad de recolectar la materia prima para concentrarla en un centro de procesamiento con factibilidad económica (Hingsamer, Jungmeier, 2019).

Una situación similar ocurre con el carbón mineral, el cual se emplea para producir electricidad mediante combustión; el carbón mineral se quema para producir calor, este se utiliza para generar vapor que se utilizará para hacer funcionar una turbina acoplada a un generador eléctrico. La biomasa también puede emplearse para esta aplicación con las mismas limitantes señaladas para el caso de la biorefinería.

16. Salvador.indd 365 12/17/19 16:43

IV. OPORTUNIDADES PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA

La revaloración de residuos industriales para la generación de energía requiere de un proceso de transformación y de un mecanismo de aprovechamiento. Los procesos de transformación tienen por objetivo procesar los materiales para separar los componentes con valor energético como el metano, el etanol o el biodiésel, mientras que el mecanismo de aprovechamiento se encarga de utilizar tales componentes para producir alguna forma de energía, como calor, movimiento o electricidad. En algunos casos, es posible obtener energía en una sola etapa, tal es el caso de la combustión de bagazo para la producción de calor, aunque no es la alternativa más eficiente. Los procesos de transformación pueden clasificarse en biológicos, químicos y termoquímicos; por su parte, los mecanismos de aprovechamiento suelen ser electromecánicos, térmicos o electroquímicos. A continuación se da una breve descripción de ellos.

Los procesos biológicos son efectuados a través de micro-organismos tales como bacterias, algas, levaduras e incluso hongos. Los procesos biológicos más empleados para la transformación de residuos en energía son la fermentación alcohólica para la producción de bioetanol y la digestión anaeróbica para la generación de biogás.

La fermentación alcohólica consiste en la transformación de azúcares en alcohol y dióxido de carbono mediante la acción de levaduras y bacterias en ausencia de oxígeno. El bioetanol de primera generación se obtiene de materias primas como la caña de azúcar y la remolacha, el de segunda generación utiliza cereales y materiales ricos en almidones (maíz, trigo, cebada, sorgo, residuos amiláceos). En el contexto actual del desarrollo sustentable, el etanol de tercera generación se obtiene de residuos lignocelulósicos para evitar la competencia con el sector alimenticio. No obstante, este tipo de residuos requiere de una etapa de pretratamiento para liberar los azúcares fermentables, lo que implica costos adicionales. Esta es una de los principales retos que se abordan en la actualidad. Los residuos industriales que pueden considerarse para esta aplicación son follajes, cáscaras de frutas y frutas que no cumplen estándares de calidad en la industria agroalimenticia; también los residuos forestales y de procesamiento de madera son susceptibles de ser transformados por esta vía (Carrillo-Nieves, Alanís, de la Cruz Quiroz, 2019).

Por otro lado, la digestión anaeróbica consiste en la degradación progresiva de materia orgánica mediante la acción de consorcios bacterianos. Se realiza en ausencia de oxígeno a temperatura alrededor de 37 °C y pH neutro. La materia orgánica pasa por cuatro etapas: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis, cada cual es llevada a cabo por una población bacteriana. El resultado de esta degradación es una mezcla gaseosa (biogás) compuesta principalmente por

16. Salvador.indd 366 12/17/19 16:43

metano y dióxido de carbono. Se obtienen también lodos que pueden ser empleados, pasando por un acondicionamiento, como biofertilizantes. La digestión anaeróbica es adecuada para tratar residuos industriales con alta carga orgánica, alta humedad y bajo contenido de sólidos, tales como aguas residuales, vinazas, bagazos y lixiviados. Los residuos con alto nivel de sólidos también pueden transformarse por esta vía, sin embargo la tecnología de digestión anaeróbica en estado sólido aún se encuentra en desarrollo (Li, Wu, 2019).

Los procesos termoquímicos basan su funcionamiento en la aplicación de calor para generar reacciones químicas que conducirán a la transformación de combustibles sólidos en gases (Pandey, Larroche, Dussap, Gnansounou, Khanal, Ricke, 2019), (Castells, 2005). Los compuestos gaseosos pueden utilizarse como materias primas para otros procesos como la síntesis de productos químicos, la generación de energía, entre otros. Existen tres procesos termoquímicos que pueden emplearse para transformar residuos sólidos en energía: combustión, pirolisis y gasificación. Cada uno cuenta con sus propias tecnologías, que aunque similares presentan particularidades importantes que las diferencian perfectamente. En este sentido cada proceso implica áreas de desarrollo para un mejor aprovechamiento del potencial energético de los residuos industriales.

La combustión es un proceso mediante el cual un material sólido sufre una oxidación completa en exceso de aire, generando agua, dióxido de carbono, luz y calor. Se lleva a cabo en presencia de exceso de oxígeno a temperaturas superiores a los 600 °C. La materia prima sufre un proceso inicial de desvolatilización generando productos en dos fases: un vapor constituido por las materias volátiles eliminadas (agua, gases ocluidos e hidrocarburos) y un residuo sólido poroso enriquecido en carbono, denominado char. Ambas fases son combustibles por lo que reaccionan de forma fuertemente exotérmica (liberando energía) con el oxígeno del medio. La energía térmica generada puede emplearse para calentar, cocinar, o bien en procesos industriales, especialmente en la generación de vapor.

La gasificación consiste en transformar un combustible sólido en un gas con valor energético, conocido como gas de síntesis (compuesto principalmente por hidrógeno y monóxido de carbono). Dicha transformación se realiza a partir de reacciones de oxidación parcial en presencia de cantidades de oxígeno inferiores a las requeridas estequiométricamente, es decir, se limita la presencia de oxígeno. Este proceso requiere de un agente gasificador, normalmente oxígeno, aire o vapor de agua, el cual promoverá la reacción de oxidación parcial de los materiales orgánicos, en este caso, los residuos industriales. Para que el proceso de gasificación se lleve a cabo se requiere de temperaturas entre 800 y 1800 °C, sin embargo éste depende directamente de las características de la materia prima. En este proceso es posible modificar parámetros como el flujo de agente gasificante, la presión, y la temperatura de reacción, entre otros, de tal manera

16. Salvador.indd 367 12/17/19 16:43

que se favorezca la formación de componentes de interés para alguna aplicación en específico. La gasificación es uno de los procesos termoquímicos más eficientes para el aprovechamiento de combustibles sólidos debido a su versatilidad e impacto ambiental. Los elementos susceptibles de ser contaminantes pueden recuperarse antes de su combustión evitando así daños ambientales y pueden ser utilizados como materia prima básica para la síntesis de productos con valor agregado; adicionalmente, es posible incluir en los procesos de gasificación módulos de captura de dióxido de carbono; el calor generado puede ser recuperado para otras aplicaciones y las cenizas pueden emplearse en la industria de la construcción, y en aplicaciones agrícolas.

La pirólisis se define como la combustión incompleta de un combustible sólido en ausencia de oxígeno a temperaturas elevadas (>500°C). En el contexto de la transformación de residuos, este proceso tiene la finalidad de descomponer la materia prima en tres sub-componentes principales: residuos carbonosos (sólidos), bioaceite (líquidos) y biogás (gaseosos). Dependiendo de las condiciones de operación se producirá mayor cantidad de alguno de ellos. En años recientes, la pirólisis ha sido estudiada como un proceso alternativo de producción de energía utilizando diferentes tipos de biomasa, como la paja, residuos de la caña de azúcar, residuos en general de la industria agroalimentaria, residuos lignocelulósicos, entre otros. También puede utilizarse para la transformación de asfaltos y plásticos. Para obtener un componente específico en los procesos de pirólisis, es necesario manipular parámetros y variables que tiene una influencia directa en la transformación de la materia prima. Entre estos factores destacan: la temperatura, la presión, el flujo de calor y las propiedades de la biomasa (composición química, contenido de cenizas, tamaño de partícula, forma, densidad, contenido de humedad, etc.), los cuales están vinculados a los fenómenos de transporte del sistema. De esta manera, es posible encontrar las condiciones de operación que favorecen la formación de gases como el metano en la transformación de residuos industriales.

Los tres tipos de procesos termoquímicos representan alternativas interesantes como método de revaloración de residuos sólidos, ya sea municipales, agrícolas, forestales o industriales. En general, este tipo de procesos ofrece altos rendimiento en la transformación de los residuos y se generan cantidades relativamente bajas de materiales residuales. Una ventaja interesante respecto a los procesos biológicos es el tiempo de reacción; debido a la aplicación de alta temperatura, las reacciones de transformación de la materia prima se llevan a cabo en cuestión de minutos. Por esta razón, la recuperación de energía puede hacerse de manera inmediata. Además, es posible recuperar componentes potencialmente tóxicos antes de su liberación a la atmósfera y pueden emplearse como materia prima para la industria química. No obstante, los procesos termoquímicos presentan

16. Salvador.indd 368 12/17/19 16:43

algunas desventajas; por ejemplo, la complexidad de los sistemas es mayor y por lo tanto la operación es también más difícil. Además, si no se implementan los mecanismos adecuados para la recuperación de componentes contaminantes (principalmente gases), se corren riesgos ambientales importantes. Entonces, se requieren metodologías adecuadas para instalar mecanismos de tratamiento de residuos basados en procesos termoquímicos que permitan un aprovechamiento integral de las materias primas cumpliendo con los estándares ambientales.

Por otro lado, las grasas y aceites vegetales residuales se producen en grandes cantidades en la industria restaurantera; lo que implica un manejo especial y por lo tanto gastos adicionales para evitar el infringir las regulaciones vigentes. La revaloración de grasas y aceites representa un área de oportunidad con múltiples beneficios. Una de las alternativas con amplio interés en el sector energético la transeterificación para la producción de biodiésel (Wallace, Gibbons, O'Dwyer, Curran, 2017). En esta reacción, en los triglicéridos presentes en grasas o aceites reaccionan con tres moléculas de un alcohol en presencia de un catalizador. El mecanismo de reacción es secuencial y ocurre de la siguiente manera: en la primera reacción una molécula de alcohol interacciona con un triglicérido formando un diglicéridos y una molécula de éster alquílico de ácido graso; en la segunda reacción, otra molécula de alcohol reacciona con el diglicérido formando un monoglicérido y una segunda molécula de éster alquílico de ácido graso; para finalizar, la última molécula del alcohol interacciona con el monoglicérido para formar glicerol y una tercera molécula de éster alquílico de ácido graso. La mezcla de ésteres alquílicos de ácidos grasos es conocida como biodiésel. Para que la reacción de transesterificación se verifique a velocidades que puedan ser de interés industrial, se requiere de la acción de un catalizador, el cual tradicionalmente se encuentra en el mismo estado físico que la mezcla de reacción y por lo general es una base o un ácido fuerte (NaOH, KOH, CH3ONa, etc.). Bajo estas condiciones, la temperatura típica de reacción es del orden de 40-60 °C y se requiere de un exceso del alcohol para dirigir el equilibrio hacia el producto y facilitar la separación del glicerol. A nivel industrial, suele usarse catalizadores homogéneos básicos, donde destacan el NaOH y el KOH, debido a que las condiciones de operación son relativamente fáciles de alcanzar y su costo y disponibilidad promueven la rentabilidad económica.

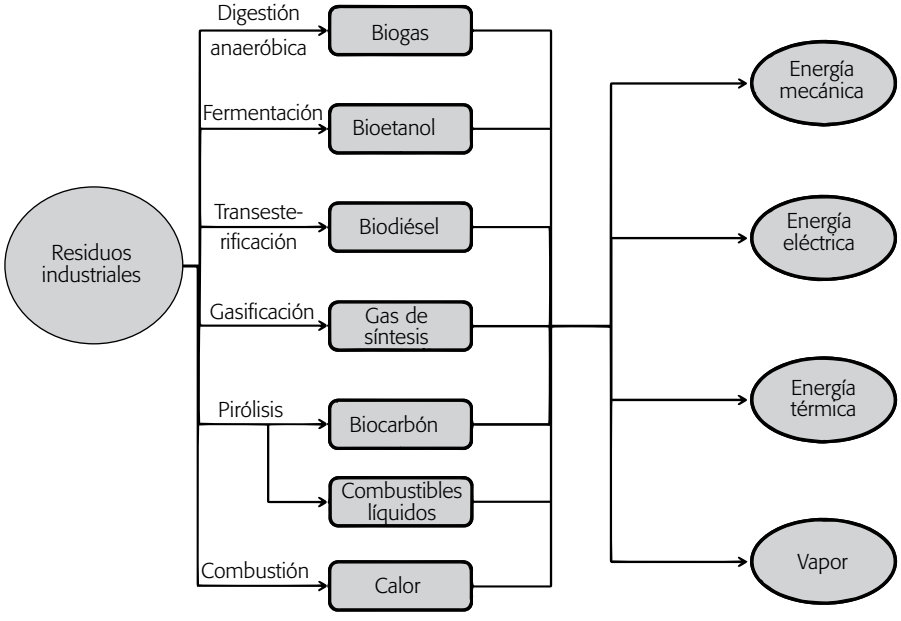
Sin embargo, se han observado algunos inconvenientes en el uso de catalizadores homogéneos, entre los que destacan los siguientes: i) el catalizador no puede ser reutilizado, ii) se genera como coproducto un glicerol de bajo grado de pureza y iii) se obtiene agua residual que requiere de un tratamiento previo a su disposición final. De esta manera, debido a las restricciones ambientales cada vez más estrictas, la atención se ha dirigido al estudio de la eficiencia de catalizadores heterogéneos que presenten menor impacto ambiental. Estos catalizadores son

16. Salvador.indd 369 12/17/19 16:43

materiales sólidos (resinas, zirconias, zeolitas, óxidos, enzimas) que facilitan la separación del biodiésel, no generan agua residual y producen un glicerol de mejor calidad. La transferencia del conocimiento generado respecto a los catalizadores heterogéneos para la transesterificación aportaría soluciones relevantes en para la revaloración de grasas y aceites residuales con alta eficiencia y bajo impacto ambiental (Hernández, Jiménez, 2018).

En la Figura 4 se presenta un esquema que resume los procesos de transformación de los residuos industriales en productos con valor energético. La combinación de los diferentes procesos de transformación llevaría a la instalación de biorefinerías que permitirían un aprovechamiento integral de los residuos. Aunque las inversiones iniciales pueden ser altas, los beneficios económicos, ambientales y sociales pueden ser de alta relevancia.

Figura 4
Esquema genérico de la ruta para obtener energía a partir de residuos industriales



V. MECANISMOS DE APROVECHAMIENTO

Como se mencionó previamente, los mecanismos de aprovechamiento tienen por objetivo generar una forma de energía útil para alguna aplicación en específi-

16. Salvador.indd 370 12/17/19 16:43

co a partir de los combustibles obtenidos mediante los procesos de transformación. El potencial energético de estos combustibles puede utilizarse para generar energía térmica, mecánica o eléctrica (Hernández, Jiménez, 2019), (Hingsamer, Jungmeier, 2019). Existe tecnología comercial que permite obtener altos rendimientos, sin embargo, el estudio de los mecanismos para la obtención de energía sigue siendo ampliamente abordado alrededor del mundo. A continuación se describen estas formas de energía con sus respectivos mecanismos.

Energía térmica. Este tipo de energía se consigue mediante un proceso de combustión. Para tal efecto existen dispositivos quemadores que suelen utilizarse para proporcionar calor en sistemas de acondicionamiento térmico o luz en sistemas de iluminación. Otras aplicaciones son la generación de vapor en escala industrial y la cocción de alimentos calentamiento de agua en escala doméstica. Prácticamente todos los combustibles obtenidos a partir de residuos industriales pueden emplearse para esta aplicación. Sin embargo, el biogás y el gas de síntesis son más adecuados para generar energía térmica debido a la infraestructura comercial disponible en la actualidad. Así, el biogás puede utilizarse en la infraestructura diseñada para operar con gas natural o licuado a presión (LP); sólo es necesario modificar el sistema de inyección. Es importante recordar que debido a su composición, la densidad energética del biogás es inferior a la del gas natural y a la del gas LP. Por esta razón, las condiciones de operación del quemador son ligeramente diferentes, por ejemplo, se requiere un mayor flujo de biogás (Hernández, Jiménez, 2019), (Hingsamer, Jungmeier, 2019).

Energía mecánica. Aunque la energía mecánica se refiere a la generación de movimiento, en el contexto de este capítulo se limita al sector transporte. Es decir, a la aplicación en motores de combustión interna. El bioetanol puede emplearse como aditivo en vehículos a gasolina para mejorar la calidad del combustible; esto ayuda a disminuir, por un lado el consumo de combustibles fósiles y por otro las emisiones de gases de efecto invernadero. Una limitante del bioetanol es que para aplicarse al 100% en los vehículos comerciales sería necesario modificar tanto el sistema de distribución de combustible como el de inyección, lo cual no es viable económicamente. Por otro lado, el biodiésel presenta ventajas sobre el diésel tales como mejor calidad (índice de cetano) y nulo contenido de azufre; además el biodiésel puede aplicarse al 100% en motores diésel comerciales sin necesidad de modificaciones. Finalmente, el para que el biogás pueda emplearse en vehículos requiere de un aumento de grado, es decir, de la eliminación de CO_2 y otros elementos para obtener únicamente metano; aunque se trata de un proceso complejo, a gran escala puede justificarse y ser rentable (Hernández, Jiménez, 2019).

Energía eléctrica. La electricidad puede generarse mediante inducción electromagnética o reacciones electroquímicas. El principio de inducción consiste en

16. Salvador.indd 371 12/17/19 16:43

la producción de una diferencia de potencial (voltaje) en los bornes de una bobina a partir de un campo magnético. La bobina se hace girar para provocar una variación del flujo magnético, lo que producirá un movimiento de electrones (fuerza electromotriz) a través del material conductor; así se genera la energía eléctrica. El movimiento rotatorio de la bobina es producido por una fuerza externa; usualmente se utilizan motores de combustión interna, turbinas hidráulicas, turbinas de gas o turbinas de vapor. Por lo tanto, cualquiera de los combustibles producidos a partir de residuos industriales puede estar al origen de la fuerza externa necesaria en un generador eléctrico (Hernández, Jiménez, 2019), (Hingsamer, Jungmeier, 2019).Por otra parte, las celdas de combustible permiten que la energía de una reacción química se transforme directamente en electricidad generando como residuo únicamente vapor de agua. La principal desventaja es su costo elevado y sus condiciones de operación. La investigación de este tipo de dispositivos ha logrado progresos notables en los últimos años. Específicamente, las celdas de óxido sólido (SOFC) han recibido una gran atención porque ofrecen altas eficiencias; la temperatura de funcionamiento (700-1,000°C) permite una gran flexibilidad en relación con el combustible a utilizar. Esto implica que es posible emplear fuentes renovables tales como los obtenidos a partir de residuos industriales. Las SOFCs pueden utilizarse en aplicaciones de pequeña potencia, sistemas independientes y sistemas remotos. Aunque el costo de esta tecnología es alto, su nivel de eficiencia y el impacto tecnológico pueden llegar a ser rentables para empresas dispuestas a invertir en la revaloración de residuos (Chen, Zhang, Gholizadeh, Hasan, Mourant, Jiang, 2016), (Papurello, Lanzini, 2018).

Cogeneración (Energía eléctrica y calor). La cogeneración consiste en la producción simultánea de electricidad y energía térmica (calor o frío) aprovechable a partir de un sólo combustible. La cogeneración se ha adaptado en escalas pequeñas para casas individuales o negocios, lo que se conoce como micro cogeneración. Esta tecnología es reconocida como eficiente y rentable. Su principal ventaja, respecto a la generación convencional, es la recuperación térmica adicional; la cual es usualmente utilizada para acondicionamiento de temperatura así como necesidades de procesos, tales como la generación de vapor. En algunos casos puede ser vendida a usuarios cercanos generando así una fuente de ingresos adicionales. Hoy en día es la mejor alternativa de conversión de la energía primaria, además de un método de conservación orientado a lograr un desarrollo sustentable. En los sistemas de cogeneración, se aprovecha hasta el 84% de la energía contenida en el combustible para la generación de energía eléctrica y calor (25-30% eléctrico y 59-54% térmico). En este sentido, las alternativas mayormente exploradas son los motores de combustión interna y las turbinas de gas. En esquemas de ciclos combinados, las turbinas de vapor son también ampliamente utilizadas (Sánchez-Castro, Carlos-Hernández, 2010).

16. Salvador.indd 372 12/17/19 16:43

Aunque pueden existir otras vías para la generación a partir de residuos industriales, se considera que las presentadas en este capítulo son las que se abordan más comúnmente a nivel comercial.

Es importante señalar que existen industrias mexicanas que han implementado sistemas de generación de energía a partir de residuos industriales. La ruta más común es la combustión para generación de vapor o la cogeneración para la obtención de electricidad y vapor. No obstante es necesario incrementar esta práctica para revalorar los residuos generados.

VI. REFLEXIONES FINALES

El uso de los residuos industriales como materia prima para la generación de energía es una alternativa factible. Las industrias deben incluir dentro de sus planes de mejora continua la revaloración integral de residuos; instaurar políticas que tiendan a convertirse en industria de cero residuos. Esta situación debe formar parte intrínseca de la industria nacional. No obstante, también es necesario fomentar, desde las políticas gubernamentales, con mayor énfasis la revaloración de los residuos industriales. Se requieren regulaciones oficiales que incentiven a las industrias a adoptar estrategias de revaloración de residuos. Si el sector industrial identifica el valor económico que implica el cuidado del medio ambiente, entonces tomará acciones para consolidad tales beneficios.

Entre los aspectos que hace falta asimilar como sociedad, es que la energía producida a partir de residuos industriales no debe verse como un sustituto de los combustibles fósiles o de otras fuentes renovables. En lugar de eso, los residuos deben visualizarse como una alternativa para complementar la matriz energética ante los problemas ambientales y la reducción de las reservas de petróleo, carbón mineral y gas natural.

Entre las principales ventajas del uso de residuos industriales para la generación de energía es que se evita la competencia con el sector alimenticio y se potencian las capacidades de infraestructura. En este sentido, es importante desarrollar estrategias para un aprovechamiento sistemático.

Si bien los residuos industriales son abundantes en nuestro país y su potencial para generar energía es amplio, la dificultad de recolectarlos y transportarlos a centros de transformación limita su aplicación en gran escala. Por tal motivo es necesario desarrollar estrategias que permitan la revaloración de este recurso. Entre tales estrategias se plantea la instalación de sistemas de generación distribuida; esto es, sistemas de pequeña escala. La generación distribuida implica menores requerimientos de biomasa, así como menores costos de inversión y de operación; de la misma manera, la energía se genera muy cerca del usuario lo que minimiza pérdidas por el transporte de esta.

16. Salvador.indd 373 12/17/19 16:43

En general, puede concluirse que la industria nacional tiene los elementos para transitar hacia un escenario con la revaloración integral de los residuos; la tecnología existe a nivel comercial y la capacidad técnica también. Incluso, el sector académico ha incrementado su oferta en el área de energía renovables, por lo que puede decirse que hay cada vez más personal capacitado en este ámbito. Además, el sector científico genera día con día nuevo conocimiento que puede y debe ser transferido al sector productivo.

VII. REFERENCIAS

K. Silpa, L. Yao, P. Bhada-Tata, F. Van Woerden. *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Urban Development Series. Washington, DC: World Bank, 2018.

A.G. Olabi. *Circular economy and renewable energy*. Energy 181 (2019): 450-454

M. Sillanpää, C. Ncibi. *The Circular Economy. Case Studies about the Transition from the Linear Economy.* Academic Press, Londres, Reino Unido, 2019.

E.A. McBean, F.A. Rovers, G. J. Farquhar, (1995). *Solid Waste Landfill Engineering and Design*. Prentice Hall, New Jersey, Estados Unidos.

R. Crowell Barbalace. *The History of Waste. Environmental Chemistry*: http://EnvironmentalChemistry.com/yogi/environmental/wastehistory.htm, 20/08/2019.

J. Magoc. *Environmental issues in American history*. Greenwood Press, USA, 2006.

J.A. Tarr, (2002). *Industrial waste disposal in the United States as a historical problem*. AMBIX, 49(1): 4-20.

European Environment Agency. *Industrial waste in Europe*. Dinamarca, 2019.

Instituto Nacional de Ecología. *La Situación de los Residuos Sólidos en México*. http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/133/situacion%20en%20mexico.html, 20/08/2019.

[10]. S. Carlos Hernandez, L. Diaz Jimenez, The Potential for Biogas Production from Agriculture Wastes in Mexico. En: Biofuels - State of Development, K. Biernat (Ed.), InTechOpen, Londres, Reino Unido, 2019.

[11]. E. I. Garcia-Peña, A. Nakauma-Gonzalez, P. Zarate-Segura. Biogas Production and Cleanup by Biofiltration for a Potential Use as an Alternative Energy Source, En: Biogas, S. Kumar (Ed.), InTechOpen, Londres, Reino Unido, 2012.

[12]. C.S. Osorio-González, F. Sandoval-Salas, F. Hernández-Rosas, J.V. Hidalgo-Contreras, F.C. Gómez-Merino, D.A. Ávalos de la Cruz. Potencial de aprovechamiento del suero de queso en México. Agroproductividad, 11(7) (2018): 101-106.

16. Salvador.indd 374 12/17/19 16:43

[13]. J.N. Fregoso-Madueño, J.R. Goche-Télles, J.G. Rutiaga-Quiñones, R.F. González-Laredo, M. Bocanegra-Salazar, J.A. Chávez-Simental. Alternative uses of sawmill industry waste. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 23(2) (2017): 243-260.

[14]. C. Durán-de Bazúa, S.A. Sánchez-Tovar, M.R. Hernández-Morales, M. Bernal-González. Use of Anaerobic-Aerobic Treatment Systems for Maize Processing Installations: Applied Microbiology in Action. Communicating Current Research and Educational Topics and Trends in Applied Microbiology. A. Méndez-Vilas (Ed.), Formatex, 2007, pp. 3-12.

[15]. A. Valdes Ramos, E.N. Aguilera Gonzalez, G. Tobón Echeverri, L. Samaniego Moreno, L. Díaz Jiménez, S. Carlos Hernández. Potential Uses of Treated MunicipalWastewater in a Semiarid Region of Mexico. Sustainability, 11 (2019): 1-23.

[16]. S. Carlos Hernández, L. Díaz Jiménez, J.A. Bueno García. Potential of energy production from slaughterhouse wastewater. Interciencia, 43 (2018): 558-565.

A. Pandey, C. Larroche, C.-G. Dussap, E. Gnansounou, S. Kumar Khanal, S. Ricke. Biofuels: *Alternative Feedstocks and Conversion Processes for the Production of Liquid and Gaseous Biofuels*. Academic Press, Londres, Reino Unido, 2019.

M. Hingsamer, G. Jungmeier. Biorefineries. En: *The Role of Bioenergy in the Emerging Bioeconomy,* C. Lago, N. Caldés, Y. Lechón (Eds.). Academic Press, Londres, Reino Unido, 2019.

D. Carrillo-Nieves, M.J. Rostro Alanís, R. de la Cruz Quiroz, H.A. Ruiz, H.M.N. Iqbal, R. Parra-Saldívar. *Current status and future trends of bioethanol production from agro-industrial wastes in Mexico*. Renewable Sustainable Energy Reviews, 102 (2019): 63-74.

Y. Li, Y. Chen, J. Wu. *Enhancement of methane production in anaerobic digestion process: A review*. Applied Energy, 240 (2019): 120-137.

X.E. Castells. *Tratamiento y valorización energética de residuos.* Ediciones Díaz de Santos, España, 2005.

T. Wallace, D. Gibbons, M. O'Dwyer, T.P. Curran. *International evolution of fat, oil and grease (FOG) waste management* – A review. Journal of Environmental Management. 187 (2017) 424-435.

S. Carlos Hernandez, L. Diaz Jimenez. *Evaluación de un proceso industrial de producción de biodiésel mediante análisis de ciclo de vida*. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 34(3) (2018): 453-465.

K. Chen, L. Zhang, M. Gholizadeh, N. Ai, M.D. Mahmudul Hasan, D. Mourant, C.-Z. Li, S. Ping Jiang. *Feasibility of tubular solid oxide fuel cells directly running on liquid biofuels*. Chemical Engineering Science, 154(2) (2016): 108-118.

D. Papurello, A. Lanzini. *SOFC single cells fed by biogas: Experimental tests with trace contaminants*. Waste Management, 72 (2018): 306-312.

16. Salvador.indd 375 12/17/19 16:43

M.E. Sánchez-Castro, S. Carlos-Hernández. *Cogeneración potencia-calor*. En: Celdas de combustible, F.J. Rodriguez Varela, O. Solorza Feria, E. Hernandez Pacheco (Eds). y1d books, Canada, 2010.

16. Salvador.indd 376 12/17/19 16:43

Importancia del aprovechamiento de residuos urbanos industriales y agropecuarios en la agricultura

Fabián Fernández Luqueño[1]
Gabriela Medina-Pérez[2]
Selvia García-Mayagoitia[3]
Gerardo Salas-Herrera[4]
Laura Natali Afanador-Barajas[5]
Fernando López-Valdez*
Angélica Romero-Rodríguez*
José Agustín Pacheco-Ortiz*
Citlali Padilla-Ramírez*

SUMARIO

I. Introducción II. Tecnologías tradicionales para el aprovechamiento de residuos III. Aprovechamiento de residuos por tecnologías de avanzada IV. Manejo y aprovechamiento de residuos para un desarrollo sustentable V. Conclusión VI. Referencias

I. INTRODUCCIÓN

Los residuos urbanos industriales y agropecuarios son materia prima barata y abundante con uso potencial en diversos sistemas de producción. De hecho, estos materiales son tan abundantes que su manejo y disposición con frecuencia son un problema para las industrias o dependencias de distintos niveles de gobierno. No obstante, durante la últimas dos décadas se han mejorado diversas

[1] Programas de Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía, CINVESTAV-Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México.

[2] Doctorado en Ciencias en Desarrollo Científico y Tecnológico para la Sociedad, CINVESTAV-Zacatenco, Ciudad de México, México.

[3] Programas de Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía, CINVESTAV-Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México.

[4] Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México.

[5] Laboratorio de Ecología de Suelos. ABACUS, CINVESTAV, Ciudad de México, México.

* Grupo de Biotecnología Agrícola, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA) - Instituto Politécnico Nacional, Tlaxcala, M-exico.

17. Fabian.indd 377 12/19/19 13:09

tecnologías tradicionales, que permiten eficientar el manejo de residuos, crear valor agregado y generar empleo (Raheem et al., 2018; Tang, Sisler, Grishkewich & Tam, 2017). Sin embargo, en los últimos años los avances tecnológicos han creado materiales con propiedades nunca antes vistas, lo cual ha implicado la creación de empleos para personal altamente especializado, la generación de nuevas cadenas de valor y la solución de diversos problemas a partir de enfoques multidisciplinarios con visión holística.

En consecuencia, ahora es posible sintetizar materiales innovadores de alto valor económico y gran potencial tecnológico a partir de lodos residuales, cucarachas, estiércoles, entre otros. Así, esos materiales se emplean en celdas de combustible microbiano, baterías, nanofertilizantes agrícolas, control biológico de plagas y enfermedades, empaques de alimentos, entre otros (Puyol et al., 2017; López-Valdez & Fernández-Luqueño, 2018; Nie et al., 2018).

En este capítulo, se describen brevemente algunas tecnologías tradicionales para aprovechar los residuos urbanos industriales y agropecuarios en la agricultura pero, además, también se describen algunas tecnologías innovadoras que permiten diseñar y sintetizar materiales con propiedades nunca antes vistas, con uso potencial en dispositivos de base tecnológica, nanotecnología, agronanobiotecnología, biorremediación, nanobiorremediación, entre otras.

II. TECNOLOGÍAS TRADICIONALES PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS

Si de tratamientos y tecnologías tradicionales de residuos se trata, debemos citar que estas tecnologías, al menos algunas de ellas, sobresalen por ser económicas y efectivas, sin embargo, toman tiempo para procesar los residuos; otras, pueden ser rápidas, pero costosas. Los factores que principalmente se deben considerar para una adecuada elección son: a) si son procesos aerobios o anaerobios, b) el tamaño o cantidad de los residuos a tratar, c) el clima de la zona, d) la dimensión o extensión del lugar donde se realizará el proceso, e) si se requiere inversión en equipos o aditamentos especiales y f) el tiempo para procesar los residuos. En las últimas décadas, se ha registrado un incremento exponencial de la población, y como consecuencia un aumento excesivo de los residuos, tanto urbanos como industriales. Tal problemática está en aumento y se necesita de un manejo adecuado de los mismos, ya que se pueden convertir en residuos peligrosos y afectar la calidad ambiental y la salud de todos los seres vivos.

Como se ha mencionado, existen muchas clases de residuos que podríamos clasificar muy brevemente en: minerales o inorgánicos, orgánicos y mixtos (aquellos residuos que poseen cantidades de los dos primeros). Los residuos también se pueden clasificar tomando en cuenta el procesamiento para su reutilización,

17. Fabian.indd 378 12/19/19 13:09

transformación, o destino final. Por lo que, se pueden dividir en tres grupos: Residuos sólidos urbanos (RSU), Residuos de manejo especial (RME) y Residuos peligrosos (RP). Los RSU son residuos que se generan en las casas habitación, en establecimientos o en la vía pública con características domésticas, estos pueden subclasificarse en orgánicos e inorgánicos. Los RME, son los generados en los procesos productivos que no poseen características de RP.

En los RP están incluidos las sustancias químicas que impactan en el ambiente y la salud e implican un nivel importante de peligrosidad porque poseen alguna de las siguientes características: corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o biológico-infeccioso; así también los envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados con este tipo residuos.

Por la gama de residuos que se pueden encontrar, como lo son: electrónicos, eléctricos, nucleares, de minería y metalurgia, automotriz, petrolera, textil, entre otros, sólo nos ocuparemos de algunos de ellos que requieren de tratamientos muy específicos.

TRATAMIENTO DE LOS PLÁSTICOS

El tratamiento de plásticos puede ser llevado a cabo por tres procesos: reciclado mecánico, reciclado químico y valorización energética. El reciclado mecánico consiste en una reducción de tamaño del material para procesarlo en una máquina extrusora-granceadora y después moldearlo por los métodos tradicionales. Esto se aplica a los termoplásticos. Existen dos problemas para el manejo de plástico que ya fue utilizado; el primero es que puede perder parte de sus propiedades y el segundo, es la dificultad para separar los distintos tipos de plásticos.

En el reciclado químico, el plástico se encuentra muy degradado o se dificulta aislarlo de la mezcla en la que se encuentra. Se define como la reacción de polimerización hacia la recuperación de las materias primas. Según el tipo de polímero, se consideran dos clases de procesos: i) Polímeros de adición a) vía térmica (pirólisis, gasificación y cracking) y la b) vía catalítica (hidrogenación, 'hidrocracking' y 'cracking') y ii). Polímeros de condensación (hidrólisis, metanólisis y glicólisis).

La valorización energética es un tratamiento para plásticos muy degradado y es una variante de la incineración, donde la energía asociada con el proceso de combustión es recuperada para generar energía. La incineración de RSU es la quema de residuos en un proceso controlado dentro de instalaciones específicas. El objetivo es la reducción de volumen y masa, convirtiéndolos químicamente en materiales inertes en un proceso de combustión sin la necesidad de agregar combustible adicional. La temperatura de combustión está entre 850 y 1,450 °C. El calor excesivo de la combustión se puede utilizar para generar vapor y producir

17. Fabian.indd 379 12/19/19 13:09

electricidad, para calentamiento/enfriamiento por redes o para suministrar vapor a procesos industriales cercanos (Mutz, Hengevoss, Hugi & Gross, 2017).

TRATAMIENTO DEL VIDRIO

El vidrio se recicla sin que el material pierda alguna de sus propiedades. Después de ser colectado se lava, separa y tritura para formar un polvo grueso llamado calcín. Este es sometido a altas temperaturas en un horno para fundirlo y moldeado nuevamente para fabricar botellas, frascos, tarros, entre otros.

TRATAMIENTO DEL PAPEL Y CARTÓN

Se realiza la recuperación de las fibras de celulosa, separándolas en soluciones acuosas, donde se incorporan sustancias tensioactivas utilizadas para eliminar la tinta, la cual queda en la superficie del baño y se separa fácilmente. Posteriormente, se somete la suspensión de las fibras y se dejan secar sobre una superficie plana, con la finalidad de recuperarlas. Después se aplanan y compactan, obteniendo láminas de papel reciclado.

TRATAMIENTO DE METALES

Los envases de acero estañado (hojalata) son reciclables y se emplean en la fabricación de otros envases, después de desestañar la hojalata. El acero, es recuperado y se recicla. Los envases de aluminio se reciclan y mantienen sus propiedades al fundirse repetidas veces. Su separación se obtiene por medio de un mecanismo llamado 'corrientes inducidas de Foucault', en combinación con sistemas de electroimanes para completar la separación de los metales.

TRATAMIENTO DEL TETRABRIK

Existen dos maneras de reciclar estos materiales: reciclado conjunto, por medio de este se obtiene un material aglomerado llamado Tectán® y reciclado por separado. En este último los componentes son aprovechados de modo independiente. Por ejemplo, para el tratamiento del papel, se utiliza el reciclado por separado, donde las fibras de celulosa del polietileno y del aluminio son separados en un 'hidropulper' por frotamiento. Al finalizar este proceso, se vacía por la parte inferior del hidropulper utilizando un filtro que deja pasar el agua y la fibra de celulosa. Al recuperar la celulosa, se recicla aproximadamente el 80% del peso del envase. El resto se puede recuperar de forma conjunta obteniendo una granza de polietileno reforzada por el aluminio. Esto último se puede utilizar como

17. Fabian.indd 380 12/19/19 13:09

combustible en las cementeras, ya que el polietileno es combustible y el aluminio oxidado suple la bauxita, que es un componente del cemento. Para separar el polietileno del aluminio se pueden utilizar disolventes, recuperando la disolución del polietileno. El aluminio también se puede recuperar por combustión.

OTROS RESIDUOS

Neumáticos. Básicamente se pueden reusar a través de tres procesos denominados: a) Recauchatado, este método consiste en reforzar el dibujo gastado. b) Corte, utilizando un fundido a presión se pueden fabricar felpudos, zapatillas, entre otras y c) Trituración (a temperatura ambiente o criogénica). La trituración criogénica consiste en utilizar temperaturas por debajo de su temperatura de transición vítrea convirtiéndolo en un material frágil y quebradizo. El producto de la trituración criogénica es un grano fino homogéneo que se emplea en caucho asfáltico para mejorar el drenaje de la capa asfáltica, así como para prolongar la duración del pavimento y reducir su fragilidad; también se puede emplear como hormigón de asfalto modificado, como combustible en grano, en pirólisis y como compostaje de fangos.

Pilas. Según su composición y tipo, tendrán como destino el reciclado o su confinamiento en un depósito de seguridad. Las pilas de botón de óxido de mercurio, óxido de plata, y las de níquel-cadmio son reciclables (Al-Thyabat, Nakamura, Shibata & Iizuka, 2013).

Aceites automotrices usados.Son residuos peligrosos, contienen productos de la degradación de los aditivos que se les añaden como fenoles, compuestos de cloro, hidrocarburos polinucleares aromáticos clorados (PCB), compuestos de plomo, etc. Son procesados por destilación y es posible obtener aceites de calidad comparable a los obtenidos del crudo petrolífero (Lam, Russell & Chase, 2010; Tian, Li, Yan, Whitcombe & Thring, 2019).

Residuos voluminosos. Dentro de estos residuos se incluyen los muebles y electrodomésticos que son recuperados por particulares y asociaciones que los reparan y revenden, para su reutilización. Algunos electrodomésticos de línea blanca como refrigeradores, deben tratarse por personal calificado o especializado, ya que pueden contener compuestos químicos tóxicos como clorofluorocarbonos (CFC), bifenilo ploriclorado (PCB), entre otros. Además, el material electrónico debe ser tratado de forma especial, ya que puede dañar el ambiente.

PROCESOS PARA LA VALORIZACIÓN ENERGÉTICA

La incineración consiste en la oxidación total de los residuos en exceso de aire y a temperaturas superiores a los 850 °C según la normativa europea. Se realiza en

17. Fabian.indd 381 12/19/19 13:09

hornos apropiados con aprovechamiento o no de la energía producida, en cuyo caso se habla de valorización energética. En una planta de valorización energética, se utilizan los RSU como combustible. El vapor de agua producido se emplea en la producción de electricidad o para calefacción doméstica.

Coprocesamiento. Es el uso de materiales derivados de residuos para reemplazar recursos minerales naturales o combustibles fósiles tradiciones como carbón, combustóleo y gas natural (recuperación de energía) en procesos industriales. Este proceso se aplica a nivel mundial en la industria cementera y en plantas termoeléctricas, así como en la industria de acero y cal. Se requiere flujos de residuos relativamente homogéneos con una característica definida para asegurar una combustión controlada. Se realizan diferentes procesos de tratamiento previo (preprocesamiento), los residuos se pueden transformar en combustibles derivados de residuos (CDR), estos se agregan al proceso de combustión mediante un sistema de dosificación independiente. En los hornos cementeros, las reacciones del clinker (a 1,450 °C) permiten la total incorporación de cenizas y en particular la unión química de los metales con el material del clinker. Los compuestos orgánicos tóxicos se destruyen por completo en la flama a temperaturas mayores a 2,000 °C. La sustitución directa del combustible primario en el proceso de producción representa una recuperación de energía mucho más eficiente comparado con otras tecnologías de aprovechamiento energético de residuos, alcanzando por lo general una eficiencia del 85 al 95%, dependiendo de las propiedades de los residuos.

Esterilización. Tratamiento térmico de residuos el cual se realiza empleando calor seco o vapor para la desinfección de residuos infecto-contagiosos (Secretaría de Desarrollo Social, 2007).

En el caso de residuos mixtos, como el de los residuos inorgánicos o minerales con o sin componentes orgánicos, se recomienda la separación de todos los componentes para después tratarlos de forma independiente o separada. Si no fuera posible la separación y procesamiento por cada componente, se deberá estudiar la forma de procesarlos adecuadamente, en forma amigable con el ambiente: sostenible y sustentablemente.

Para los residuos orgánicos, las tecnologías de procesamiento y aprovechamiento son bastante conocidas. Los residuos orgánicos pueden ser tratados de diferente manera tomando en cuenta el tipo de residuo; algunos tratamientos son: Digestión anaerobia, compost, vermicompost y bokashi. Para asimilar mejor esta sección es conveniente hablar de los procesos de descomposición por microorganismos (como bacterias) presentes en el suelo o los sustratos, como un factor muy importante en los procesos que estamos por discutir.

17. Fabian.indd 382 12/19/19 13:09

PROCESOS DE DESCOMPOSICIÓN MICROBIANA

El aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos mediante procesos de descomposición microbiana que se llevan a cabo de manera aeróbica (en presencia de aire) o anaeróbica (en ausencia de aire) es de conocimiento común. La materia orgánica, contenida en los residuos orgánicos, es de origen animal o vegetal, que, por la participación de microorganismos, pasan de la forma orgánica a la mineral (minerales solubles e insolubles); estas actividades están promovidas por la acción de bacterias, hongos y anélidos oligoquetos (Lumbricidae), principalmente. Al emplear estas técnicas se reducen los costos de producción en su tratamiento y si el objetivo es aprovechar y aplicar estos residuos tratados para los cultivos en campo, entonces reducen los costos por la compra de fertilizantes químicos.

DIGESTIÓN ANAEROBIA (BIOMETANIZACIÓN).

Es un proceso biológico acelerado artificialmente, donde las condiciones de oxígeno son pobres o nulas (proceso anaeróbico). El resultado es una mezcla de gases formada en 99% por metano y dióxido de carbono (con mezclas efectivas de 65% de metano) y 1% de amoniaco y ácido sulfhídrico. Como es bien sabido, el metano es utilizado como gas combustible. La digestión anaerobia es la descomposición de materia orgánica mediante microorganismos en ausencia de oxígeno libre. Ocurre en forma natural en condiciones carentes de oxígeno, como en el sedimento de algunos lagos y se puede utilizar en condiciones relativamente controladas para generar biogás. Se utiliza un reactor hermético (digestor anaeróbico) para proveer las condiciones favorables para que los microorganismos conviertan la materia orgánica (sustrato) en biogás y un residuo sólido-líquido llamado digestato. El digestato se puede aprovechar como fertilizante orgánico con previo tratamiento y formulación (Mutz et al., 2017).

COMPOST

El compostaje es un proceso de transformación microbiana de la materia orgánica en productos húmicos y minerales conocidos como compost, que se emplean como fertilizantes. Se realiza en presencia de oxígeno y en condiciones humedad, pH y temperatura semicontrolada. El compost se puede emplear para tratar residuos domésticos o de jardín, entre otros de la misma naturaleza. El producto digerido puede mejorar las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo, promoviendo una mejor flora del suelo. El compost es inocuo y químicamente

17. Fabian.indd 383 12/19/19 13:09

estable (Hernández-Cázares, Real-Luna, Delgado-Blancas, Bautista-Hernández & Velasco-Velasco, 2016). La utilización del compost como fertilizante se recomienda en suelos con bajo contenido de materia orgánica y suelos erosionados y, siempre es conveniente para casi cualquier cultivo.

VERMICOMPOST

Es un compuesto complejo formado por las deyecciones la lombriz común, por ejemplo: *Eisenia fetida y Lumbricus rubellus*. El vermicompost es el resultado de la interacción de microrganismos y lombrices para el procesamiento de la materia orgánica. Sin embargo, no todas las especies de lombrices son capaces de degradar grandes cantidades de materia orgánica. La adición de vermicompost al suelo incrementa la materia orgánica del suelo y mejora algunas características fisicoquímicas y biológicas que favorecen la actividad microbiana para la mineralización de nutrientes y el desarrollo de raíces de las plantas. Además, incorporan nutrientes de fácil absorción para las plantas ***i.e.*** los hacen biodisponibles. El vermicompost contiene nutrientes, hormonas de crecimiento, ácidos húmicos y poblaciones microbianas benéficas que favorecen la producción agrícola.

Es una técnica fácil de desarrollar que requiere muy poco trabajo (Appelhof, Olszewski & Stewart, 2017) y no genera olores desagradables. Además, ayuda a las plantas a prosperar puesto que mejora la fertilidad y la capacidad de retención de agua del suelo. Las lombrices se multiplican más si la densidad de población es baja, se controla la humedad y se da alimento cada siete a diez días (Schuldt, Christiansen, Scatturice & Mayo, 2006).

Adicionalmente, el vermicompost no requiere de una inversión financiera significativa debido a que el mantenimiento de los anélidos y los desechos no generan costos, más que para la adaptación del habitad de las lombrices. Es una técnica que está al alcance de familias o productores del ámbito agroindustrial y la obtención de humus se convierte en un insumo habitual con capacidad de exportarse (Schuldt, Christiansen & Scatturice, 2007). El compost se puede combinar con materiales inorgánicos para la producción de fertilizantes orgánicos ricos en nutrientes (Mupambwa & Mnkeni, 2018).

Una desventaja del vermicomposteo es el requerimiento de alimento, ya que la lombriz consume diariamente su peso en alimento, por lo esta técnica que es un proceso lento de producción de abono. La lombriz vive poco más de un año, siendo su ciclo de vida corto (Schuldt et al., 2007). Algunos de los factores limitantes para cultivos de *Eisenia fetida* son: las temperaturas inferiores a 0 °C y superior a 42 °C, escasa actividad con humedades inferiores al 70% y la densidad de lombrices en el cultivo depende de la edad del compost (Schuldt et al., 2007).

17. Fabian.indd 384 12/19/19 13:09

BOKASHI

'Bokashi' es el término japonés que literalmente significa *'materia orgánica fermentada'* (Bertolí-Herrera, Terry-Alfonso & Ramos-Agüero, 2015). Como su nombre indica, es la fermentación de desechos orgánicos de origen vegetal o animal en un proceso aeróbico, llevado a cabo por microorganismos quimioorganotróficos (Bertolí-Herrera et al., 2015; Ramos-Agüero & Terry-Alfonso, 2014).

La utilización del bokashi aumenta los microorganismos en el suelo (hongos, bacterias y actinomicetos, principalmente; Shintani, Leblanc & Tabora, 2000), mejora las características físicas y aumenta la biodisponibilidad y abundancia de los nutrientes (Ramos-Agüero & Terry-Alfonso, 2014).

El objetivo del uso del compost es suministrar macro y micro nutrientes al suelo para asegurar la nutrición mineral de los cultivos (Shintani et al., 2000). En la preparación del compost, los minerales atrapados en la materia orgánica, se vuelven de fácil absorción para las plantas y se eliminan los patógenos que podrían estar en la materia orgánica fresca y causar daño al cultivo (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 2014). En el bokashi, el número de microorganismos que contiene es mayor, promovido por la adición de levaduras y el proceso fermentativo (Ramos-Agüero & Terry-Alfonso, 2014; Shintani et al., 2000) y al mismo tiempo, nutre el cultivo, deja disponible la materia orgánica para los organismos del suelo (Bertolí-Herrera et al., 2015) y provee de fitohormonas y promotores del crecimiento vegetal. En sí, la distinción esta marcadamente en el tipo de proceso: la fermentación y la adición de microorganismos exógenos.
El Bokashi no produce gases tóxicos, ni malos olores, se puede elaborar en la mayoría de los ambientes y los costos a largo plazo se reducen (dependiendo de la materia orgánica disponible para su elaboración). Además, las ventajas ambientales son notables en comparación con el uso irracional de fertilizantes sintéticos y se mantiene un mayor contenido energético de la masa orgánica debido a que no alcanza temperaturas tan elevadas, por lo que hay menos pérdidas por volatilización de compuestos orgánicos (Bertolí-Herrera et al., 2015; Shintani et al., 2000). Una desventaja de esta técnica es que como proceso fermentativo, requiere de suficiente tiempo para estabilizar los residuos, de un inoculo apropiado en cantidad de microorganismos, asimismo, de la capacidad de generar el propio inóculo *i.e.* se demanda cierto grado de tecnificación, todo ello dependiendo de la cantidad de residuos a tratar.

17. Fabian.indd 385 12/19/19 13:09

III. APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS POR TECNOLOGÍAS DE AVANZADA

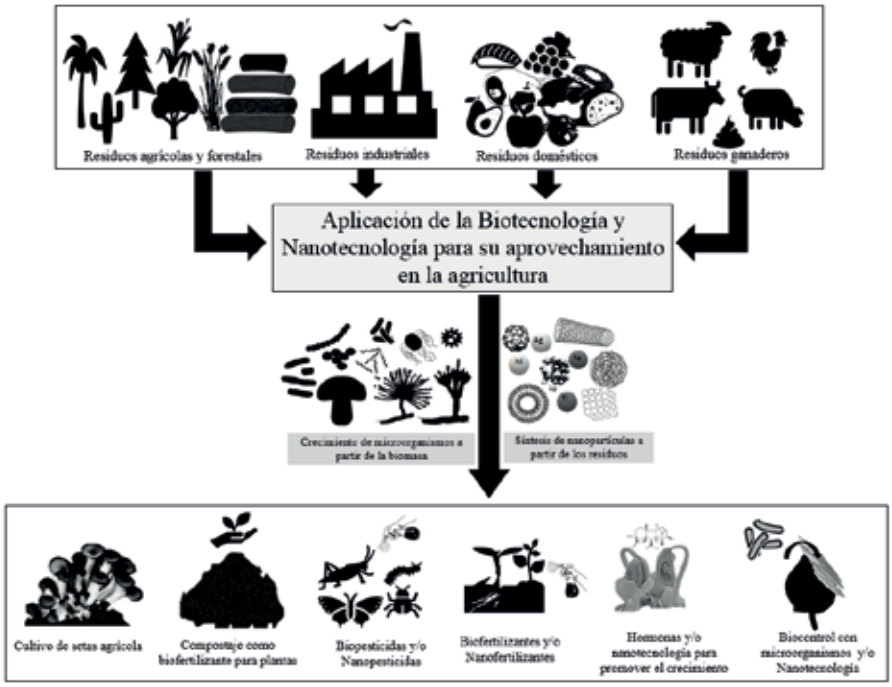
BIOTECNOLOGÍAS

Los vertederos y la incineración han sido las formas más populares de tratar los desechos orgánicos, pero ambos causan efectos ambientales negativos, como el uso de tierras valiosas y la producción de gases peligrosos. Una alternativa, ha sido realizar el manejo de los residuos como un recurso de energía alternativa y renovable, en este sentido, la biotecnología ofrece una oportunidad para ayudar a mantener la calidad ambiental (van Wyk, 2001). La biotecnología es una disciplina bastante amplia, en la que se aprovechan diversos procesos biológicos, organismos, células o componentes celulares para el desarrollo de nuevas tecnologías (Sharfstein, 2017)biotechnology pervades all aspects of our daily life; it affects the foods we eat, the safety of the water we drink, the clothes we wear and how we wash them, the medications we take, and the gasoline we put into our cars. This section on biotechnology provides a comprehensive overview of the what, why, and how of biotechnology and bioprocessing. Initial sections focus on the wide range of biological systems that are used to carry out biological transformations including enzymes, bacteria, yeast and other fungi, mammalian and insect cells, plants and plant cell cultures, and transgenic animals. The next section focuses on the applications or end products of these biological transformations. These products include: industrial products (sometimes referred to as white biotechnology. Entre estas herramientas se consideran el uso de organismos o sus componentes para el aprovechamiento de los residuos, ya sea de origen urbano, industrial y agropecuario para el desarrollo de productos que tengan diversas aplicaciones tecnológicas y en especial para la agricultura.

Se ha abierto un nuevo camino al utilizar diversos residuos como los agrícolas como fuente de nutrientes para que los microorganismos produzcan productos biológicos valiosos, como enzimas, ácidos orgánicos y otros metabolitos útiles que tienen diversas aplicaciones en diversos campos. La bioconversión de la biomasa en bioenergía es la aplicación más apreciada de los residuos agrícolas, especialmente la que es de naturaleza celulósica (Singhania, Patel & Pandey, 2017; Pattanaik, Pattnaik, Saxena & Naik, 2019). En la actualidad, existen una gran cantidad de aplicaciones biotecnológicas para el aprovechamiento de residuos en productos con valor agregado como lo son los biocombustibles como el bioetanol, biometano, butanol, biodiesel o productos energéticos (Tuck, Perez, Horvath, Sheldon & Poliakoff, 2012; Muñoz-Muñoz, Pantoja-Matta & Cuatin-Guarin, 2014; Figura 1).

17. Fabian.indd 386 12/19/19 13:09

Figura 1
Principales aplicaciones biotecnológicas y nanotecnológicas para el aprovechamiento de residuos



Sin embargo, vamos a enfocarnos en los principales productos que se pueden obtener de diferentes residuos para su aprovechamiento en la agricultura (Singhania et al., 2017), como se muestran en la Figura 1. Donde se pueden apreciar unas de las principales aplicaciones biotecnológicas, la transformación de estos residuos en compostaje, para uso como biofertilizantes, crecimiento de microorganismos como biofertilizantes, biopesticidas para el control de plagas agrícolas, biocontrol de fitopatógenos, hormonas para el crecimiento vegetal y crecimiento de setas de interés comercial. En la Tabla 1, se enuncian algunos ejemplos de diversos residuos como salvado de maíz, yuca o cascarilla de arroz, cáscara de café, astillas de madera, té negro, desechos de matadero de aves y vacunos, diversos residuos agroindustriales y agroforestales. Estos se han empleado para la producción de biofertilizantes, cultivo de setas, biocontrol, biopesticidas y producción de hormonas.

Nanotecnologías

La nanotecnología tiene un gran potencial para posibilitar el aprovechamiento de los residuos urbanos y agrícolas, permitiendo que se generen productos

17. Fabian.indd 387 12/19/19 13:09

de valor agregado que podrían ser utilizados no solo en la agricultura, si no en áreas diversas como la medicina, los productos farmacéuticos, la electrónica y la agricultura. La población mundial actual es de casi ocho mil millones de habitantes (Prasad, Kumar & Prasad, 2014) y los países en desarrollo actualmente se enfrentan por un lado a la escases de recursos y a un mal aprovechamiento de los mismos recursos que impactan directamente el medio ambiente. La aplicación de la nanotecnología a las industrias agrícolas y alimentarias también está recibiendo atención hoy en día. Las inversiones en agricultura y nanotecnologías alimentarias tienen un peso cada vez mayor porque sus beneficios potenciales van desde la mejora de la calidad e inocuidad de los alimentos hasta la reducción de los insumos agrícolas y la mejora del procesamiento y la nutrición. Si bien la mayor parte de la inversión se realiza principalmente en países desarrollados, los avances de la investigación brindan vislumbres de posibles aplicaciones en la seguridad agrícola, alimentaria y del agua, que podrían tener un impacto significativo en las poblaciones rurales de los países en desarrollo.

Tabla 1
Ejemplos de tecnologías con el uso de diversos residuos y su aplicación en la agricultura

Tecnología	*Residuos utilizados*	*Desarrollo y/o aplicación*	*Referencias*
Biotecnología	Salvado de Maíz (*Zea mays* L.)	Realizado por fermentación semisolida con *Bacillus subtilis*, como biofertilizante de trigo (*Triticum aestivum* L.) y col china (*Brassica rapa pekinensis*).	Zhang, Liu & Wang (2019)
Biotecnología	Residuos agroindustriales y agroforestales	Cultivo de setas: *Agaricus bisporus, Pleurotus* spp y *Lentinula edodes*.	Philippoussis (2009)
Biotecnología	Desechos de un matadero de aves de corral	Compostaje para el desarrollo de biofertilizante de aplicación agrícola.	Asses, Farhat, Hamdi & Bouallagui (2019)in which poultry slaughter-house waste (59.65%
Biotecnología	Residuos de yuca o mandioca, cascarilla de arroz y otros residuos	Fermentación de *Streptomyces microflavus* como biocontrol para su aplicación en campos agrícolas.	Dong, Li, Zhao & Liu (2018)
Biotecnología	Cáscara de café y bagazo de mandioca o yuca	Fermentación con *Gibberella fujikuroi* para producción de la hormona de crecimiento vegetal Giberelina (GA_3).	Machado, Soccol, de Olivaira & Pandey (2002)

Continúa...

17. Fabian.indd 388 12/19/19 13:09

Tecnología	*Residuos utilizados*	*Desarrollo y/o aplicación*	*Referencias*
Biotecnología	Residuos biológicos y astillas de madera	Fermentación de estado sólido inoculado con *Bacillus thuringiensis* (Bt), para el control de diversas plagas como *Lepidoptera, Coleoptera* and *Diptera*.	Rodríguez, Cerda, Font, Sánchez & Artola (2019)
Biotecnología	Residuos de Té negro (*Camellia sinens*)	A partir de los residuos, se obtuvo el crecimiento del hongo *Trichoderma harizanum* como biocontrol de patógenos agrícolas.	Ziadi (2018)
Nanotecnología	NP de origen comercial	Encapsulación de pesticidas (zineb y mancozeb) usando nanotubos de carbono para desarrollar un Nanopesticida para el tratamiento de enfermedades de plantas.	Sarlak, Taherifar & Salehi (2014)
Nanotecnología	NP de origen comercial	Nanofertilizante de Zinc (ZnNP) para la producción de cultivos de arroz.	Yuvaraj & Subramanian (2014)
Nanotecnología	Flores de *Nyctanthes arbor-tristis*	Síntesis de nanopartículas de Zn (ZnNP), y su aplicación contra hongos fitopatógenos.	Jamdagni, Khatri & Rana (2018)
Nanotecnología	Piel de mandarina Sasutma (*Citrus unshiu*)	Síntesis de nanopartículas de plata (AgNP) con diversas aplicaciones agrícolas.	Basavegowda & Lee (2013)
Nanotecnología	Cáscara de Nuez de anacardo (*Anacardium occidentale* L.)	Síntesis de nanopartículas de plata (AgNP) y sus propiedades antifúngicas como posibles controladores de patógenos.	Bonatto & Silva (2014)
Nanotecnología	Cáscara de camarones (*Penaeus monodon*)	Obtención de Chitosan con múltiples aplicaciones.	Divya, Rebello & Jisha (2014)

Varios autores han publicado trabajos en los que se proponen alternativas de obtención de nanomateriales a partir de residuos agrícolas y urbanos, biodegradables y no biodegradables. Los nanomateriales a base de carbono (CNM) como el grafeno y los nanotubos de carbono (CNT) tienen aplicaciones relacionadas con el medio ambiente y la energía. Aunque ya existen métodos de síntesis para producir CNM por medio de pirolisis controlada, los métodos de síntesis ecológica con reacciones de ahorro de energía o materiales de partida económicos recientemente están ganando más atención. Kuma, Singh y Singh (2016) publicaron una amplia revisión de los materiales que tienen alta eficiencia para producir grafeno, CNT, puntos de carbono y que han sido reportados utilizando varios precursores de hidrocarburos naturales (aceite de trementina, aceite de eucalipto, aceite de palma, aceite de neem, aceite de girasol, aceite de ricino, biodiesel, extracto de árbol de té, miel, leche, azúcar, mantequilla, huevo, etc.). Además, algunos grupos de investigación han utilizado desechos de alimentos (galletas y chocolate), desechos de vegetación (bosques, hojas, hierba, desechos de frutas), desechos de insectos, excremento o huesos de vacas, heces de perro,

17. Fabian.indd 389 12/19/19 13:09

plumas de pollo y desechos agrícolas (bagazo de caña de azúcar) para la síntesis de grafeno y CNTs. En dichos procesos se han utilizado hidrocarburos fósiles como percusores que catalizan la descomposición térmica. Otras técnicas para la síntesis de materiales basados en carbono son descargas de arco, ablación por láser y CVD, etc. Los procesos de CVD heterogéneos simplemente implican pasar un flujo gaseoso o líquido.

Varios artículos de revisión reportan la utilización de hidrocarburos fósiles como fuente de carbono para la síntesis de grafeno y CNT (Kumar & Ando, 2010; Shah & Tali, 2016), pero solo unos pocos informes muestra la síntesis de grafeno y CNT por ocurrencia natural o por precursores y productos de desecho (Zhu, Guo, Fang & Dong, 2010; Wei & Yushin 2012; Baskar, Venkatesh & Park, 2015).

Otra posible utilización de desechos agrícolas y urbanos es la síntesis verde de nanopartículas en la que se aprovechan materiales biológicos: células enteras, metabolitos o extractos de plantas y microorganismos para la síntesis de nanopartículas metálicas. La gran ventaja sobre otros métodos es que resulta simple, rentable, relativamente reproducible y además ha sido posible obtener materiales más estables y no se requiere el empleo de otros reactivos tóxicos, lo cual reduce los efectos ambientales. Adelere y Lateef (2016) publicaron una interesante revisión sobre el uso de los extractos de plantas, sus frutos y semillas que contienen abundantes compuestos naturales como alcaloides, flavonoides, saponinas, esteroides, taninos y otros compuestos nutricionales estos actúan como agentes reductores y estabilizadores para la reacción de biorreducción en la síntesis de nanopartículas metálicas, y ha sido posible lograr la síntesis de varias nanopartículas "verdes" de cobalto, cobre, plata, oro, paladio, platino, óxido de zinc y magnetita.

La celulosa es parte importante de la biomasa de los desechos agroindustriales. Actualmente se están desarrollando técnicas para la obtención de nanofibras a partir de celulosa, las cuales han sido desarrolladas y bien estudiadas para ser aplicadas en áreas de salud, energía, textiles, bioingeniería y temas ambientales. En los últimos años, la tecnología más utilizada es el electro-hilado ya que las características de las fibras obtenidas cumplen con las propiedades necesarias para cada aplicación, tales como alta permeabilidad, bajo peso, diámetro reducido y alta densidad de poros. Ramakrishna et al. (2006) revisaron ampliamente el desarrollo de nanofibras y diseñaron membranas a partir de estas para ser empleadas en diversas aplicaciones.

OTRAS TECNOLOGÍAS NOVEDOSAS

Ya se mencionaron algunas de las principales aplicaciones tecnológicas para el uso de diversos residuos aplicados en la agricultura. Dentro de las tecnologías

17. Fabian.indd 390 12/19/19 13:09

nuevas están el procesamiento de residuos a través biorrefinerías, aprendizaje automatizado, inteligencia artificial, procesamiento de imágenes y Big data entre otras. La integración de las energías renovables en un entorno industrial local es una tarea urgente para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Anjum, Qadeer y Khalid (2018) realizaron un estudio en el que propusieron un sistema de biorrefinería utilizando desechos de alimentos para la producción de biogás, mediante codigestión anaeróbica de residuos de maíz y basura de comida, obteniendo un aumento de 2.03 veces la producción de biogás (40% de residuos de maíz pretratados parcialmente + 60% de residuos de restauración), en comparación con los residuos de restauración solos (control); además, la reducción de metano también se incrementó. Adicionalmente, esos mismos autores evaluaron la fitotoxicidad del subproducto posterior a la digestión (digestato residual), el cual presentó características favorables para ser usado como fertilizante. Otras investigaciones también se han enfocado en la utilización de residuos generados por la agroalimentación (suero de queso, residuos de poda de vid y granos gastados de cerveceros) y la industria de la pulpa y el papel (aserrín, astillas, corteza y lodo) para la producción de fibras de papel, combustibles y otros productos químicos (Romaní, Michelin, Domingues & Teixeira, 2018).

La implementación de micro redes para la optimización de la gestión de residuos actualmente es requerida; el desarrollo tecnológico actual ha permitido que en primer lugar la cantidad de desechos se pueda predecir con una red neuronal artificial. Luego, el procesamiento de residuos se optimiza mediante un algoritmo lagrangiano, desarrollado con base en los costos de producción de energías renovables. Dicha optimización también puede ajustarse a las preferencias del usuario. Para la interacción del usuario, se utiliza un paradigma de aprendizaje activo (Graus, Niemietz, Rahman, Hiller & Pahlenkemper, 2018). Un estudio similar fue presentado por Kannangara, Dua, Ahmadi y Bensebaa (2018), donde el propósito central fue el desarrollo de modelos para la predicción precisa de la generación y el desvío de residuos sólidos municipales (RSU) basados en variables demográficas y socioeconómicas, con la aplicación planificada de generar inventarios de RSU en todo Canadá. Se generaron modelos mapeando cantidades residenciales de RSU con parámetros socioeconómicos y demográficos de 220 municipios en la provincia de Ontario, Canadá. Se aplicaron dos algoritmos de aprendizaje automático, a saber, árboles de decisión y redes neuronales, para construir los modelos en el software informático Matlab®. Los modelos de redes neuronales tuvieron el mejor rendimiento, describiendo el 72% de la variación en los datos.

17. Fabian.indd 391 12/19/19 13:09

IV. MANEJO Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS PARA UN DESARROLLO SUSTENTABLE

La limitada disponibilidad de recursos para la producción de alimentos es cada vez más evidente, lo que nos lleva a replantear la forma en que los aprovechamos y disponemos de ellos (Tabla 2). En el medio natural los recursos son aprovechados en los diferentes ecosistemas en ciclos de retroalimentación, por lo que no hay residuos, todo es parte de estos procesos cíclicos. Por otra parte, los intensivos procesos de producción agrícola y otras actividades antropogénicas, generan grandes cantidades de desechos y residuos. Esto ha originado grandes huellas ecológicas en detrimento del medio ambiente, por lo que se debe reconsiderar el paradigma convencional de crecimiento buscando regenerar los recursos naturales regionales y simultáneamente ser económicamente competitivos (Scheel, 2016). La intensificación excesiva de la agricultura apoyada en fertilizantes inorgánicos sin reaprovisionar la materia orgánica de los suelos (Figura 2) provoca una decadencia de la calidad y fertilidad del suelo (Kyalo-Willy, Muyanga & Jayne, 2019). Por lo que el manejo y aprovechamiento de residuos orgánicos para la producción agrícola, son piezas fundamentales para lograr su desarrollo sustentable.

La iniciativa para el aumento del carbón orgánico en los suelos en una tasa anual del 0.4% ("4 per 1000"), busca compensar las emisiones de CO_2 de fuentes antropogénicas. Esta propuesta se apoya principalmente en las tierras agrícolas, donde se destacan los beneficios para este fin del pastoreo, las enmiendas orgánicas y la incorporación de residuos (Minasny et al., 2017). El retorno de residuos de cosecha a los agroecosistemas, desde la perspectiva global de los ciclos del nitrógeno fue evaluado por Wang, Pendall, Fang, Li y Nie (2018). Ellos encontraron que la cosecha aumentó 5.5%, las reservas de nitrógeno se incrementaron 10.7% en el suelo, 20.8% en los cultivos y 34.9% en microorganismos. Aunado a esto comentan que el efecto del regreso de residuos de cosecha podría ser acumulativo. Por otra parte, Mousavi-Avval et al., (2017), evaluaron las emisiones al medio ambiente de cultivos de canola, mostrando que la incorporación de los residuos al suelo representa una actividad ambientalmente más amigable que la práctica de la incineración. Aunado a esto, los autores comentan que el aprovechamiento de los residuos para la alimentación de animales de granja y el aprovechamiento del estiércol como fertilizante, pueden ser consideradas opciones ambientalmente positivas.

La optimización en la utilización de recursos mediante la integración de animales de corral con la producción agrícola, es otra forma de aprovechamiento de los residuos. Esto ha sido recientemente evaluado para la producción de gansos en un viñedo orgánico (Patrizi, Niccolucci, Castellini, Pulselli y Bastianoni, 2018),

17. Fabian.indd 392 12/19/19 13:09

donde reportan que este sistema de agrosilvicultura permite disminuir la necesidad de aplicación de fertilizantes y mejora el control de malezas. La evaluación del sistema lo realizaron en términos de "emergía" una herramienta basada en termodinámica, donde reportan que la integración de los sistemas representa un ahorro de 33%, en comparación con los sistemas independientes. Resultados similares son presentados por Paolotti, Boggia, Castellini, Rocchi y Rosati (2016), donde remarcan la ventaja de la producción de aves de corral en un huerto de olivos, destacando que este tipo de sistemas podrían establecerse con otro tipo de cultivos.

El manejo sustentable de residuos de cosecha en el campo es altamente variable y su aprovechamiento está influenciado por muchos factores como las características de las plantas de cultivo, el tipo de suelo y el clima. Mientras que una extracción excesiva de residuos resulta en pérdidas de materia orgánica para el suelo y un incremento en la erosión, una acumulación excesiva puede generar problemas para la siembra, inmovilización de nitrógeno y mantener condiciones húmedas y frías en el suelo (Clay et al., 2018). Otra opción que se ha estudiado para el aprovechamiento de residuos de cosecha es la producción de biogás por digestión anaerobia con la recuperación de nutrientes. Koppelmäki et al., (2019), presentaron la modelación de un sistema agroecológico donde integran la producción de cereales, hortalizas, una granja avícola y una panadería. La intensión de la producción de biogás es para el funcionamiento de esta última utilizando abono verde como la principal materia prima. En sus resultados comentan que la producción estimada es 70% mayor que la consumida, lo que representaría un beneficio adicional a la recuperación de nutrientes para la producción agrícola.

Con un enfoque basado en la demanda de nutrientes en la fertilización en los cultivos de la región de Tampere Finlandia, Tampio et al., (2017), evaluaron el uso potencial de los nutrientes del digestato de una planta de biogás, la cual fue planeada para tratar desechos urbanos, orgánicos y lodos del tratamiento de aguas residuales. Los autores comentan que aunado al aprovechamiento del estiércol del ganado, se podría cubrir el 50% del fósforo y el 15% del nitrógeno soluble requerido en la región. Esta visión de recuperar nutrientes, energía y agua aprovechando los sistemas de tratamiento de aguas residuales fue revisada por Diaz-Elsayed, Rezaei, Guo, Mohebbi & Zhang (2019). El enfoque que le dan a su investigación es con base en la escala de las plantas de tratamiento, donde destacan que las plantas de tratamiento de mayor tamaño (3800 m^3/día o más) son las que más aprovecha la recuperación de energía a través del manejo de biosólidos. Además comentan que el mayor potencial para la recuperación de nutrientes se encuentra en las plantas pequeñas (17 m^3/día o menos), mediante la aplicación de tecnologías para la separación de fuentes de orina. A pesar de los beneficios que representan este tipo de aprovechamiento de compuestos orgá-

17. Fabian.indd 393 12/19/19 13:09

nicos, existen casos en los que la aplicación excesiva de estos podría representar riesgos al ambiente, como el reportado por Wielemaker, Oenema, Zeeman y Weijma (2019), donde exponen una sobre fertilización en agricultura urbana, lo que representa un alto riesgo para aguas superficiales y subterráneas, así como para la calidad de los suelos.

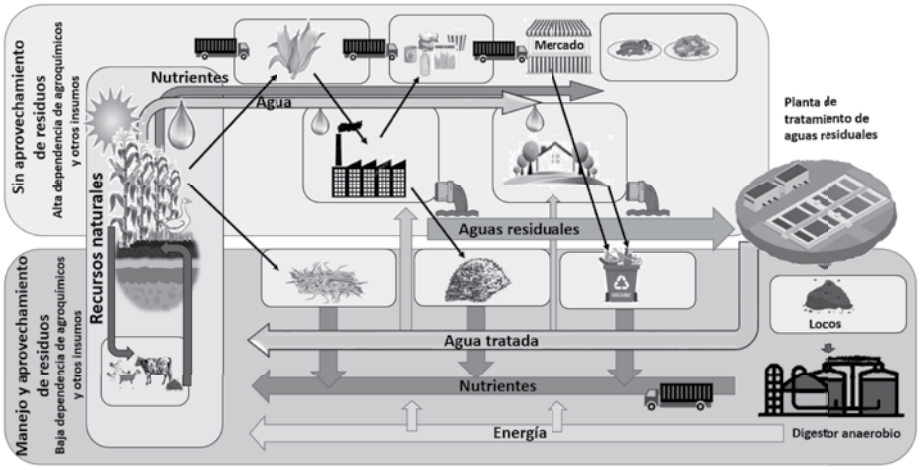


Figura 2. Esquema generalizado de la producción de alimentos del campo a la mesa. En el recuadro superior se visualiza la producción sin el aprovechamiento de residuos. El recuadro inferior muestra el manejo y aprovechamiento de los residuos como opción para la optimización del uso de recursos naturales.

Tabla 2
Estudios sobre el aprovechamiento y manejo de residuos para un desarrollo sustentable

Principales argumentos y aportaciones
Evaluaron la utilización y potencial de productos biogénicos y de desechos en Alemania. Calcularon que se producen aproximadamente 1500 kg per cápita aproximadamente. Comentan que se podría satisfacer hasta el 13% de la demanda energética de ese país con el uso de materiales residuales y desechos. En sus discusiones los autores comentan que para el caso de Alemania se podría asumir que la cantidad de residuos y desechos podrían ser similares en cuanto a cantidad hacia el 2020 y 2030. Brosowski et al. (2016)

Continúa...

17. Fabian.indd 394 12/19/19 13:09

Principales argumentos y aportaciones
Hacen una revisión sobre la conversión de desechos de alimentos a energía mediante procesos de digestión anaerobia. Concluyen que es una actividad económicamente viable, sin embargo reconocen la necesidad de considerar los costos de recolección y transportación de los desechos alimenticios, destacando que se podrían buscar productos adicionales con valor agregado en el proceso. Paritosh et al. (2017)
Reportan una aplicación excesiva de compostas y estiércol en algunas prácticas de agricultura urbana. Los excesos de nutrientes equivalen a 45% de nitrógeno, 600% de fósforo y 250 % de potasio, con base en los requerimientos de las plantas en cultivo. Wielemaker et al. (2019)
Revisan el potencial del aprovechamiento de desechos orgánicos y residuos para la producción de compuestos de polímeros de fibras naturales. Esto como una alternativa al uso común de estos desechos como el composteo o la digestión anaerobia. Entre sus conclusiones los autores comentan que aún se requieren más estudios sobre las propiedades de estos materiales para poder sustituir algunos materiales derivados del petróleo, resultando en alternativas más sustentables. Väisänen, Haapala, Lappalainen & Tomppo (2016)
En el marco de la iniciativa 4 por 1000 para mejorar la fertilidad de los suelos, seguridad alimentaria y mitigación del cambio climático a través del incremento de materia orgánica en los suelos, destacan que la estabilización de la materia orgánica en los suelos recae en la biodiversidad de los suelos y la fisiología microbiana en estos, lo cual se afecta por las prácticas agrícolas, por lo que se requieren investigaciones profundas en este sentido. Chenu et al. (2019)

V. CONCLUSIÓN

Existe un gran número de tecnologías para reusar los residuos urbanos industriales y agropecuarios en la agricultura y en prácticamente todos los sectores productivos. Básicamente la diferencia entre las tecnologías disponibles son la inversión inicial requerida, el valor agregado que se da al producto reusado, el nivel de tecnificación y el conocimiento o grado de especialización requerido. En general, a mayor inversión inicial requerida, mayor grado de especialización y por consiguiente, mayor valor agregado ***i.e.*** mayor margen de ganancia. Sin embargo, la contribución ambiental de las técnicas para reusar materiales es muy similar, en el sentido de que se reducen volúmenes de desechos, se disminuyen los riegos de contaminación, se generan nuevos productos 'amigables con el ambiente', se crean fuentes de empleo, se contribuye al desarrollo sustentable y se fortalece el bienestar social.

17. Fabian.indd 395 12/19/19 13:09

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada con los proyectos 'Ciencia Básica SEP-CONACyT 287225' y 'COAH-2019-C13-C006_FONCYT-COECYT' y con recursos del Cinvestav Saltillo, Cinvestav Zacatenco y CIBA-IPN.

VI. REFERENCIAS

Adelere, I. A., & Lateef, A. (2016). A novel approach to the green synthesis of metallic nanoparticles: The use of agro-wastes, enzymes, and pigments. *Nanotechnology Reviews*, 5(6), 567–587. doi: 10.1515/ntrev-2016-0024

Al-Thyabat, S., Nakamura, T., Shibata, E., & Iizuka, A. (2013). Adaptation of minerals processing operations for lithium-ion (LiBs) and nickel metal hydride (NiMH) batteries recycling: Critical review. *Minerals Engineering,* 45, 4-17. Doi: 10.1016/j.mineng.2012.12.005

Anjum, M., Qadeer, S., & Khalid, A. (2018). Anaerobic Co-digestion of Catering and Agro-Industrial Waste: A Step Forward Toward Waste Biorefinery. *Frontiers in Energy Research*, 6, Article number UNSP 116. doi: 10.3389/fenrg.2018.00116

Appelhof, M., Olszewski, J., & Stewart A., (2017). *Worms Eat My Garbage, 35th Anniversary Edition: How to Set Up and Maintain a Worm Composting System: Compost Food Waste, Produce Fertilizer for Houseplants and Garden, and Educate Your Kids and Family*. North Adams, MA, USA. Storey Publishing.

Asses, N., Farhat, W., Hamdi, M., & Bouallagui, H. (2019). Large scale composting of poultry slaughterhouse processing waste: Microbial removal and agricultural biofertilizer application. *Process Safety and Environmental Protection*, 124, 128–136. doi: 10.1016/J.PSEP.2019.02.004

Basavegowda, N., & Lee, Y. R. (2013). Synthesis of silver nanoparticles using Satsuma mandarin (*Citrus unshiu*) peel extract: A novel approach towards waste utilization. *Materials Letters*, 109, 31–33. doi: 10.1016/J.MATLET.2013.07.039

Baskar, V., Venkatesh, J., & Park, S. W. (2015). Impact of biologically synthesized silver nanoparticles on the growth and physiological responses in *Brassica rapa* ssp. pekinensis. *Environmental Science and Polluttion Ressearch*, 22(22), 17672–17682. doi: 10.1007/s11356-015-4864-1

Bertolí-Herrera, M. P., Terry-Alfonso, E., & Ramos-Agüero, D. (2015). *Producción y uso del abono orgánico tipo bocashi. Una alternativa para la nutrición de los cultivos y la calidad de los suelos*. Mayabeque, Cuba. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.

Bonatto, C. C., & Silva, L. P. (2014). Higher temperatures speed up the growth and control the size and optoelectrical properties of silver nanoparticles greenly

17. Fabian.indd 396 12/19/19 13:09

synthesized by cashew nutshells. *Industrial Crops and Products*, 58, 46–54. doi: 10.1016/J.INDCROP.2014.04.007

Brosowski, A., Thrän, D., Mantau, U., Mahro, B., Erdmann, G., Adler, P., Stinner, W., Reinhold, G., Hering, T., & Blanke, C. (2016). A review of biomass potential and current utilisation – Status quo for 93 biogenic wastes and residues in Germany. *Biomass & Bioenergy*, 95, 257-272. doi: 10.1016/j.biombioe.2016.10.017

Chenu, C., Angers, D. A., Barre, P., Derrien, D., Arrouays, D., & Balesdent, J. (2019). Increasing organic stocks in agricultural soils: Knowledge gaps and potential innovations. *Soil & Tillage Research*, 188, 41-52. doi: 10.1016/j.still.2018.04.011

Clay, D. E., Alverson, R., Johnson, M. F., Karlen, D. L., Wang, M. Q., Bruggeman, S., & Westhoff, S. (2018). Crop residue management challenges: A special issue overview. *Agronomy Journal,* 111(1), 1-3. doi: 10.2134/agronj2018.10.0657

Diaz-Elsayed, N., Rezaei, N., Guo, T. J., Mohebbi, S., & Zhang, Q. (2019). Wastewater-based resource recovery technologies across scale: A review. *Resources Conservation and Recycling*, 145, 94-112. doi: 10.1016/j.resconrec.2018.12.035

Divya, K., Rebello, S., & Jisha, M. S. (2014). A simple and effective method for extraction of high purity chitosan from shrimp shell waste. *Prociding of the Internation Conference on Advances In Applied Science and Environmental Engineering,* 141–145, doi: 10.15224/ 978-1-63248-004-0-93

Dong, M., Li, K., Zhao, L., & Liu, X. (2018). *Optimization of solid-state fermentation process and development of biocontrol agent based on cassava residue from Streptomyces microflavus*. DEStech Transactions on Computer Science and Eng ineering, 596–605. doi: 10.12783/dtcse/mso2018/20547

Graus, M., Niemietz, P., Rahman, M. T., Hiller, M., & Pahlenkemper, M. (2018). Machine learning approach to integrate waste management companies in micro grids. *19th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE)*, 103–108, doi: 10.1109/EPE.2018.8396029

Hernández-Cázares, A. S., Real-Luna, N., Delgado-Blancas, M. I., Bautista-Hernández, L., &Velasco-Velasco, J. (2016). Residuos agroindustriales con potencial de compostaje. *Revista Agroproductividad*. 9(8), 10-17.

Jamdagni, P., Khatri, P., & Rana, J. S. (2018). Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using flower extract of *Nyctanthes arbor-tristis* and their antifungal activity. *Journal of King Saud University – Science*, 30(2), 168–175. doi: 10.1016/J.JKSUS.2016.10.002

Kannangara, M., Dua, R., Ahmadi, L., & Bensebaa, F. (2018). Modeling and prediction of regional municipal solid waste generation and diversion in Canada using machine learning approaches. *Waste Management*, 74, 3–15. doi: 10.1016/J.WASMAN.2017.11.057

Koppelmäki, K., Parviainen, T., Virkkunen, E., Winquist, E., Schulte, R. P. O., & Helenius, J. (2019). Ecological intensification by integrating biogas production into

17. Fabian.indd 397 12/19/19 13:09

nutrient cycling: Modeling the case of agroecological symbiosis. *Agricultural Systems* 170, 39-48. doi: 10.1016/j.agsy.2018.12.007

Kumar, M., & Ando, Y. (2010). Chemical vapor deposition of carbon nanotubes: a review on growth mechanism and mass production. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* 10(6), 3739–3758. doi: https://doi.org/10.1166/jnn.2010.2939

Kumar, R., Singh, R. K., & Singh, D. P. (2016). Natural and waste hydrocarbon precursors for the synthesis of carbon based nanomaterials: Graphene and CNTs. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 58, 976-1006. doi: 10.1016/J.RSER.2015.12.120

Kyalo-Willy, D., Muyanga, M., & Jayne, T. (2019). Can economic and environmental benefits associated with agricultural intensification be sustained at high population densities? A farm level empirical analysis. *Land Use Policy*, 81, 100-110. doi: 10.1064/j.landusepol.2018.10.046

Lam, S. S., Russell, A. D., & Chase, H. A. (2010). Pyrolysis using microwave heating: A sustainable process for recycling used car engine oil. *Industrial Engineering Chemistry Research*, 49(21), 10845-10851. doi: 10.1021/ie100458f

López-Valdez, F., & Fernández-Luqueño, F. (Eds.). (2018). *Agricultural Nanobiotechnology, Modern Agriculture for a Sustainable Future*. Cham, Switzerland, Springer.

Machado, C. M. M., Soccol, C. R., de Oliveira, B. H., & Pandey, A. (2002). Gibberellic acid production by solid-state fermentation in coffee husk. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 102, 179-191. doi: 10.1385/ABAB:102-103:1-6:179

Minasny, B., Malone, B. P., McBratney, A. B., Angers, D. A., Arrouays, D., Chambers, A., Chaplot, V., Chen, Z. S., Cheng, K., Das, B. S., Field, D. J., Gimona, A., Hedley, C., Hong, S. Y., Mandal, B., Marchant, B. P., Martin, M., McConkey, B. G., Mulder, V. L., O´Rourke, S., Richer-de-Forges, A. C., Odeh, I., Padarian, J., Paustian, K., Pan, G., Poggio, L., Savin, I., Stolbovoy, V., Stockmann, U., Sulaeman, Y., Tsui, C. C., Vagen, T. G., Wesemael, B. & Winowiecki, L. (2017). Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*, 292, 59-86. doi: 10.1016/j.geoderma.2017.01.002

Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. (2014). *Elaboración, uso y manejo de abonos orgánicos.* Consultado en agosto del 2019, disponible en: https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/12/Manual-de-elaboraci%C3%B3n-de-abonos-org%C3%A1nicos.pdf

Mousavi-Avval, S. H., Rafiee, S., Sharifi, M., Hosseinpour, S., Notarnicola, B., Tassielli, G., Renzulli, P. A., & Khanali, M. (2017). Use of LCA indicators to assess Iranian rapeseed production systems with different residue management practices. *Ecological Indicators*, 80, 31-39. doi: 10.1016/j.ecolind.2017.04.045

17. Fabian.indd 398 12/19/19 13:09

Muñoz-Muñoz, D., Pantoja-Matta, A. J., & Cuatin-Guarin, F. M. (2014). Aprovechamiento de residuos agroindustriales como biocombustible y biorefinería. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(2), 10-19.

Mupambwa, H. A., & Mnkeni, P. N. S. (2018). Optimizing the vermicomposting of organic wastes amended with inorganic materials for production of nutrient-rich organic fertilizers: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(11), 10577-10595. https://doi.org/10.1007/s11356-018-1328-4

Mutz, D., Hengevoss, D., Hugi, C., & Gross, T. (2017). *Opciones para el aprovechamiento energético de residuos en la gestión de residuos sólidos urbanos. Guía para los responsables de la toma de decisiones en países en vías de desarrollo y emergentes*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. Alemania. https://www.giz.de/en/downloads/Guia%20GIZ%202017%20WasteToEnergy%20-%20SP.pdf

Nie, S. X., Zhang, C. Y., Zhang, Q., Zhang, K., Zhang, Y. H., Tao, P., & Wang, S. F. (2018). Enzymatic and cold alkaline pretreatments of sugarcane bagasse pulp to produce cellulose nanofibrils using a mechanical method. *Industrial Crops and Products,* 124, 435-441, doi: 10.1016/j.indcrop.2018.08.033

Paolotti, L., Boggia, A., Castellini, C., Rocchi, L., & Rosati, A. (2016). Combining livestock and tree crops to improve sustainability in agriculture: a case study using the Life Cycle Assessment (LCA) approach. *Journal of Cleaner Production*. 131, 351-363. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.05.024

Paritosh, K., Kushwaha, S. K., Yadav, M., Pareek, N., Chawade, A., & Vivekanand, V. (2017). Food waste to energy: An overview of sustainable approaches for food waste management and nutrient recycling. *Biomed Research International*, Article number 2370927. doi: 10.1155/2017/2370927

Patrizi, N., Niccolucci, V., Castellini, C., Pulselli, F. M., & Bastianoni, S. (2018). Sustainability of agro-livestock integration: Implications and results of Emergy evaluation. *Science of the Total Environment*, 622, 1543-1552. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.10.029

Pattanaik, L., Pattnaik, F., Saxena, D. K., & Naik, S. N. (2019). Biofuels from agricultural wastes. In: Basile, A., & Dalena, F. (Eds), *Second and Third Generation of Feedstocks. The Evolution of Biofuels.* (pp. 103–142). doi: 10.1016/B978-0-12-815162-4.00005-7. Amsterdam, Netherlands, Elsevier.

Philippoussis, A. N. (2009). Production of mushrooms using agro-industrial residues as substrates. In: Nigam, P. S. & Pandey, A. (Eds), *Biotechnology for Agro-Industrial Residues Utilisation: Utilisation of Agro-Residues.* (pp. 163-196). doi: 10.1007/978-1-4020-9942-7-9. Dordrecht, Netherlands, Springer.

Prasad, R., Kumar, V., & Prasad, K. S. (2014). Nanotechnology in sustainable agriculture: Present concerns and future aspects. *African Journal of Biotechnology*, 13, 705–713. doi: 10.5897/ajbx2013.13554

17. Fabian.indd 399 12/19/19 13:09

Puyol, D., Batstone, D., Hulsen, T., Astals, S., Peces, M., & Kromer, J. O. (2017). Resource recovery from wastewater by biological technologies: Opportunities, challenges, and prospects. *Frontiers in Microbiology*, 7, article number 2106. doi: 10.3389/fmicb.2016.02106

Raheem, A., Sikarwar, V. S., He, J., Dastyar, W., Dionysiou, D. D., Wang, W., & Zhao, M. (2018). Opportunities and challenges in sustainable treatment and resource reuse of sewage sludge: A review. *Chemical Engineering Journal*, 337, 616-641, doi: 10.1016/j.cej.2017.12.149

Ramakrishna, S., Fujihara, K., Teo, W. E., Yong, T., Ma, Z. W., & Ramaseshan, R. (2006). Electrospun nanofibers: solving global issues. *Materials Today,* 9, 40–50. doi: 10.1016/S1369-7021(06)71389-X

Ramos-Agüero, D., & Terry-Alfonso, E. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos Tropicales*, 35(4), 52–59.

Rodríguez, P., Cerda, A., Font, X., Sánchez, A., & Artola, A. (2019). Valorisation of biowaste digestate through solid state fermentation to produce biopesticides from *Bacillus thuringiensis. Waste Management*, 93:63–71. doi: 10.1016/J.WASMAN.2019.05.026

Romaní, A., Michelin, M., Domingues, L., & Teixeira, J. A. (2018). Valorization of wastes from agrofood and pulp and paper industries within the biorefinery concept: Southwestern Europe scenario. In: Bhaskar, T., Pandey, A., Mohan, S. V., Lee, D. J., & Khanal, S.K. (Eds.). *Waste Biorefinery: Potential and Perspectives* (pp. 487-504). Amsterdam, Netherlands, Elsevier.

Sarlak, N., Taherifar, A., & Salehi, F. (2014). Synthesis of nanopesticides by encapsulating pesticide nanoparticles using functionalized carbon nanotubes and application of new nanocomposite for plant disease treatment. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(21), 4833-4838. doi: 10.1021/jf404720d

Scheel, C. (2016). Beyond sustainability. Transforming industrial zero-valued residues into increasing economic returns. *Journal of Cleaner Production* 131, 376-389. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.05.018

Schuldt, M., Christiansen, R., & Scatturice, L. A. (2007). Lombricultura. desarrollo y adaptación a diferentes condiciones de temperie (Vermiculture.development and adaptation to diverse climatic conditions). *Revista Electrónica de Veterinaria*, 8(8), 1-10.

Schuldt, M., Christiansen, R., Scatturice, L. A., & Mayo, J. P. (2006). Conduccion de lombricultivos en condiciones de temperie extremas (zonas frias)—Vermiculture management in extreme weather conditions (cold areas). *Revista Electrónica de Veterinaria*, 7(7), 1-7.

17. Fabian.indd 400 12/19/19 13:09

Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) (2007). Sistemas de tratamiento de residuos sólidos. Obtenido de: http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd61/tecnadmvo/cap1.pdf

Shah, K. A., & Tali, B. A. (2016). Synthesis of carbon nanotubes by catalytic chemical vapour deposition: A review on carbon sources, catalysts and substrates. *Materials Science in Semiconductors Processing*, 41, 67–82. doi: 10.1016/J.MSSP.2015.08.013

Sharfstein, S. T. (2017). Biotechnology. *Reference Module in Life Sciences.* doi: 10.1016/B978-0-12-809633-8.12382-9

Shintani, M., Leblanc, H., & Tabora, P. (2000). *Tecnología Tradicional Adaptada para una Agricultura Sostenible y un Manejo de Desechos Modernos*. Limón, Costa Rica: Earth.

Singhania RR, Patel AK, Pandey A (2017) Biotechnology for agricultural waste recycling. In: Wong, J. W. C., Tyagi, R.D., & Pandey, A., (Eds.). *Current developments in biotechnology and bioengineering: Solid waste management* (pp. 223–240). Amsterdam, Netherlands: Elsevier. doi: 10.1016/B978-0-444-63664-5.00010-1

Scheel, C. (2016). Beyond sustainability. Transforming industrial zero-valued residues into increasing economic returns. *Journal of Cleaner Production*. 131, 376-386. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.05.018

Tampio, E., Lehtonen, E., Kinnunen, V., Mönkäre, T., Ervasti, S., Kettunen, R., Rasi, S., & Rintala, J. (2017). A demand-based nutrient utilization approach to urban biogas plant investment based on regional crop fertilization. *Journal of Cleaner Production,* 164, 19-29. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.06.172

Tang, J. T., Sisler, J., Grishkewich, N., Tam, K. C. (2017). Functionalization of cellulose nanocrystals for advanced applications. *Journal of Colloid and Interface Science*, 494, 397-409. doi: 10.1016/j.jcis.2017.01.077

Tian, Y., Li, J. B., Yan, X. Y., Whitcombe, T., & Thring, R. (2019). Co-pyrolysis of metal contaminated oily waste for oil recovery and heavy metal immobilization. *Journal of. Hazardous Materials*, 373, 1-10. doi: 10.1016/j.jhazmat.2019.03.061

Tuck, C. O., Pérez, E., Horvath, I. T., Sheldon, R. A., & Poliakoff, M. (2012). Valorization of Biomass: Deriving More Value from Waste. *Science*, 337, 695-699. doi: 10.1126/science.1218930

van Wyk, J. P. (2001). Biotechnology and the utilization of biowaste as a resource for bioproduct development. *Trends in Biotechnology*, 19(5), 172-177. doi: 10.1016/S0167-7799(01)01601-8

Väisänen T, Haapala A, Lappalainen R, Tomppo L (2016) Utilization of agricultural and forest industry waste and residues in natural fiber-polymer composites: A review. *Waste Management*, 54, 62-73, doi: 10.1016/j.wasman.2016.04.037

17. Fabian.indd 401 12/19/19 13:09

Wang, M., Pendall, E., Fang, C., Li, B., & Nie, M. (2018). A global perspective on agroecosystem nitrogen cycles after returning crop residue. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 266, 49-54, doi: 10.1016/j.agee.2018.07.019

Wei, L., & Yushin, G. (2012). Nanostructured activated carbons from natural precursors for electrical double layer capacitors. *Nano Energy.* 1, 552–565. doi: 10.1016/J.NANOEN.2012.05.002

Wielemaker, R., Oenema, O., Zeeman, G., & Weijma, J. (2019). Fertile cities: Nutrient management practices in urban agriculture. *Science of the Total Environment*, 668, 1277-1288. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.424

Yuvaraj, M., & Subramanian, K. S. (2014). Fabrication of zinc nano fertilizer on growth parameter of rice. *Trends Bioscience*, 7(1), 2564-2565.

Zhang, H., Liu, Y., & Wang, G. (2019). Integrated use of maize bran residue for one-step phosphate bio-fertilizer production. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 187(4), 1475-1487. doi: 10.1007/s12010-018-2874-4

Zhu, C., Guo, S., Fang, Y., & Dong, S. (2010). Reducing Sugar: New Functional Molecules for the Green Synthesis of Graphene Nanosheets. *ACS Nano*, 4(4), 2429-2437, doi: 10.1021/nn1002387

Ziadi, S. A. A. (2018). Preparation of culture media for growth *Trichoderma harizanum* from residues of black tea (waste tea). *Biochememical and Cellular Archive*, 18(1), 197–200.

17. Fabian.indd 402 12/19/19 13:09

Las energías renovables en México. Panorama al 2050

Jesús Antonio del Río Portilla*
Nydia Xcaret Valladares Arias**
Karla G. Cedano Villavicencio***

SUMARIO

I. Introducción II. Generación actual de energía en México para la industria II.Energías renovables en la industria a nivel mundial IV.Prospectiva de las ER en la industria al 2050 en el mundo V.Industria en México al 2050 VI. Bibliografía

I. INTRODUCCIÓN

En este texto comentamos aspectos apuntando hacia el uso sustentable de la energía en el sector industrial. Primeramente comentamos el uso actual de la energía en México y revisamos la generación y uso en el sector en el ámbito internacional. Basados en el estudio de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) [4] planteamos la perspectiva de generación de electricidad en el ámbito mundial para el 2050 para con ello vislumbrar la prospectiva de uso y generación de energía en México para la misma fecha. Apuntamos a que el sector industrial pase de ser un consumidor pasivo y tome el carácter de "prosumidor".

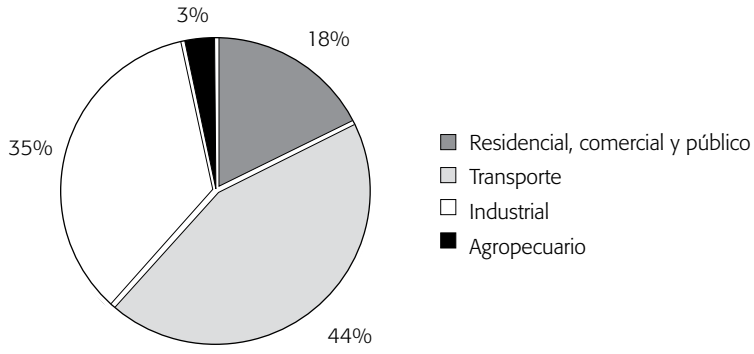
II. GENERACIÓN ACTUAL DE ENERGÍA EN MÉXICO PARA LA INDUSTRIA

La demanda de energía es diferente para los sectores en nuestro país. En el año 2017 el consumo energético por sector se desarrolló de la siguiente forma: transporte 44%, industrial 35%, residencial, comercial y público 17.6% y por el último el sector agropecuario 3.4%.

* Director del Instituto de Energías Renovables de la UNAM (IER-UNAM).
** Instituto de Energías Renovables de la UNAM.
*** Instituto de Energías Renovables de la UNAM.

18. Antonio.indd 403 12/17/19 16:44

Gráfica 1
Consumo final energético por sector (2017)



Elaboración propia con información de SENER [1].

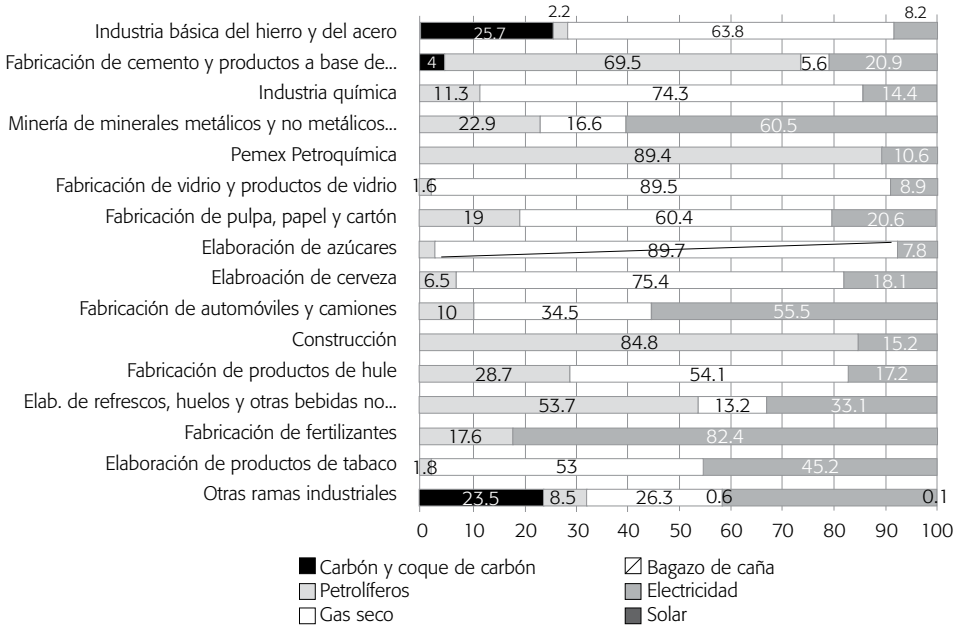
Específicamente, el sector industrial se ubicó en 2017 como el segundo consumidor de energía, y en ese año aumentó su consumo un 11.7% con respecto al 2016.

Los combustibles más utilizados por este sector se encuentran en la Gráfica 2. El energético más utilizado fue el gas seco con 36.4% lo que equivale a 683.23 PJ, de acuerdo con los datos reportados en 2016 hubo un aumento de 5.4%. Posteriormente, se encuentra la electricidad con el 30.2% (566.69 PJ), y un aumento de 0.9% con respecto al año anterior. El carbón se coloca en la tercera posición con 12.65%, y destaca al tener el mayor aumento al ser del 272.3%. Con el 10.98% (206.11 PJ) en cuarta posición está el coque, que contabiliza tanto al coque de carbón como de petróleo, los cuales tuvieron un incremento del 0.22%. Los petrolíferos se ubican en la quinta posición, aquí se incluye gas licuado, gasolinas y naftas, diésel queroseno y combustóleo, con el 7.07% que representa 132.69 PJ. Se reportó un decremento del 18.64%, principalmente de diésel y combustóleo. Por último, están el bagazo de caña y energía solar con el 2.66% y 0.03% respectivamente, y crecimiento del 30.35% y 6.1% con respecto al año 2016.

Asimismo, en la Gráfica 2. se puede observar que, de acuerdo a los combustibles utilizados por la industria, en total 67% son de combustibles fósiles. Sin embargo, se desataca que la porción correspondiente a electricidad (30%), puede ser generada con fuentes renovables.

18. Antonio.indd 404 12/17/19 16:44

Gráfica 2
Consumo de energía en el sector industrial por energético (2017)



Elaboración propia con información de SENER [1].

Actualmente la energía solar tiene poca participación, no obstante, se menciona en el Balance Nacional de Energía 2017 [1] el crecimiento exponencial en los últimos años. Sin olvidar que, hoy existe la posibilidad de adquirir Certificados de Energías Limpias (CEL), instrumento que permite, mediante la acreditación de la generación de energía limpia, la promoción de estas en la matriz energética.

De acuerdo con el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN) existen 15 industrias identificadas por su alto consumo energético:

- Industria básica del hierro y del acero
- Fabricación de cemento y productos a base de cemento en plantas integradas
- PEMEX Petroquímica
- Industria química
- Fabricación de vidrio y productos de vidrio
- Fabricación de pulpa, papel y cartón
- Minería de minerales metálicos y no metálicos, excepto petróleo y gas
- Elaboración de azúcares
- Elaboración de cerveza

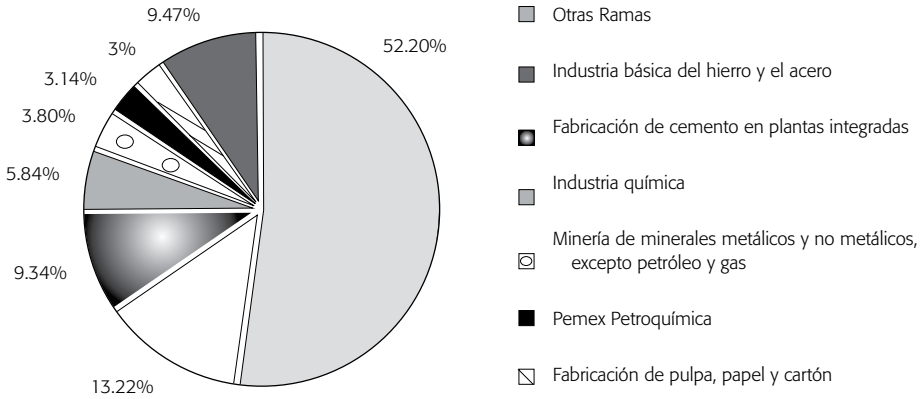
18. Antonio.indd 405 12/17/19 16:44

- Elaboración de refrescos, hielo y otras bebidas no alcohólicas, y purificación y embotellado de agua
- Construcción[1]
- Fabricación de automóviles y camiones
- Fabricación de productos de hule
- Fabricación de fertilizantes
- Elaboración de productos de tabaco

De acuerdo con los datos reportados en el Balance Nacional de Energía, en el país las principales cinco industrias (Gráfica 3), con mayor consumo de energía en 2017 son: la del hierro y el acero con el 13.22%, la fabricación de cemento y productos a base de cemento con 9.34%, la industria química con 5.84%, la minería de minerales metálicos y no metálicos (excepto petróleo y gas) con 3.8%, Pemex Petroquímica con 3.14% y por último la industria dedicada a la fabricación de pulpa, papel y cartón con 3%. Las siguientes 10 ramas en conjunto corresponden al 9.47% de la energía consumida, mientras que el 52.2% restante pertenece a otras ramas que no incluidas por la clasificación mencionada.

La industria con mayor aumento en sus requerimientos energéticos fue la elaboración de azúcares con 27.75%, por el contrario, se encuentra que la fabricación de fertilizantes presenta una reducción del 29.96% en su consumo de energía.

Gráfica 3
Consumo de energía en el sector industrial por industria (2017)

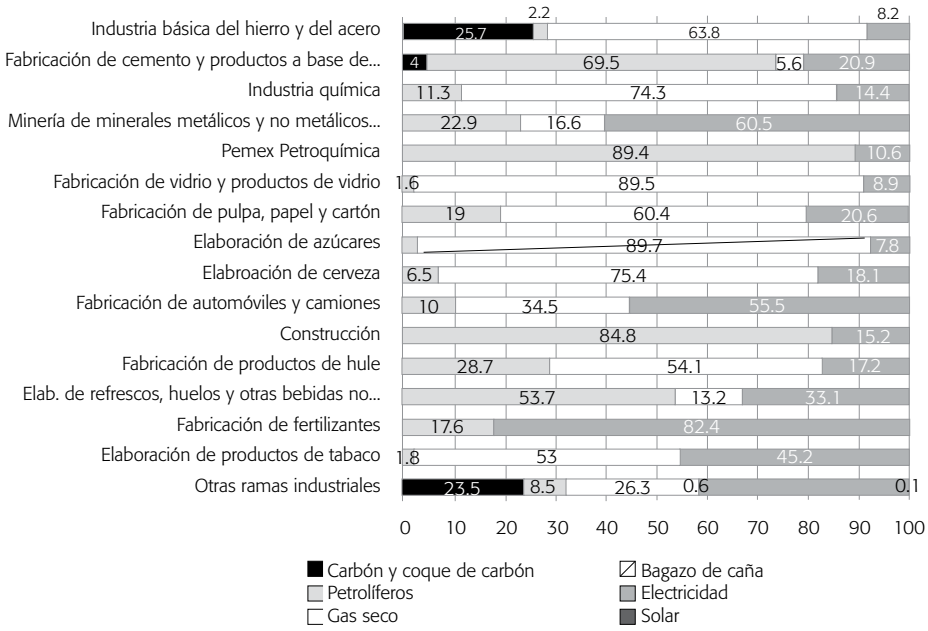


Elaboración propia con información de [1].

[1] La industria de la construcción incluye: edificación, construcción de obras para ingeniería civil y trabajos especializados para la construcción.

18. Antonio.indd 406 12/17/19 16:44

Gráfica 4
Consumo de industrias por tipo de combustible (2017)



Elaboración propia información de SENER [1].

En la Gráfica 4. se muestran las principales ramas industriales y su consumo energético por tipo de combustible. Esto nos da mayor información acerca de la estructura de consumo que tienen. De forma general, se puede observar que los principales combustibles que se utiliza en la industria son gas seco, electricidad y petrolíferos, y en menor cantidad bagazo de caña, carbón y coque de carbón y energía solar. Como se mencionó anteriormente, es importante destacar que el porcentaje de electricidad puede ser cubierto con energía de tipo renovable, este corresponde al 28% de la energía que consumen todas las industrias, es decir 458 PJ. Asimismo, con esta gráfica se pueden definir las industrias que tienen mayor potencial de aprovechar energías renovables, al conocer su principal fuente de energía tradicional.

Es posible comparar la situación energética en México con el resto del mundo.

III. ENERGÍAS RENOVABLES EN LA INDUSTRIA A NIVEL MUNDIAL

De acuerdo con información de la Agencia Internacional de las Energías Renovables (IRENA, por sus siglas en inglés) de un total de 2,410 empresas analizadas, con ingresos reportados de 26.5 miles de millones de dólares, 47% reportaron

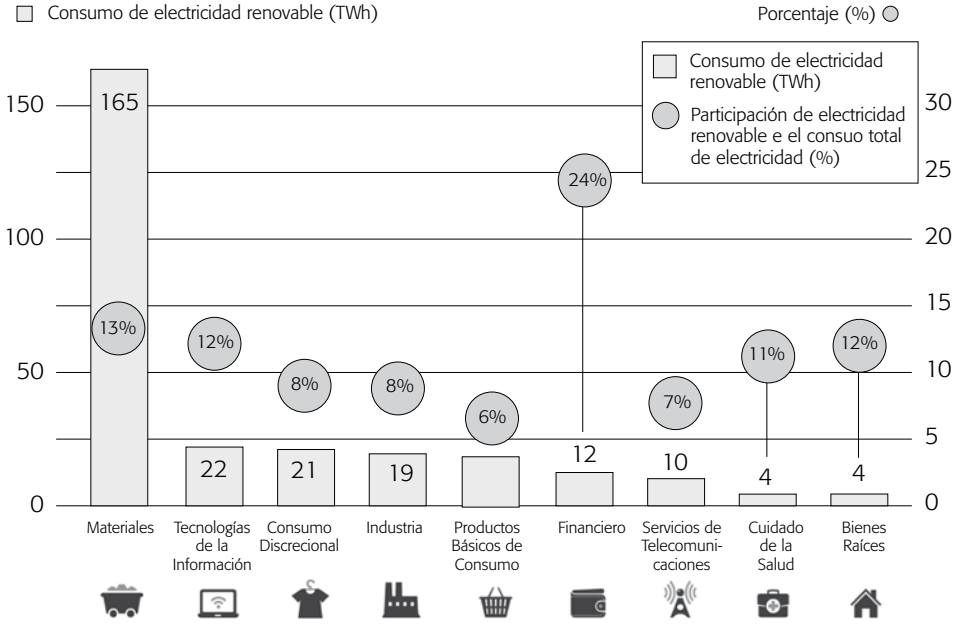
18. Antonio.indd 407 12/17/19 16:44

que su consumo de electricidad proviene de fuentes renovables. Estas empresas se ubican principalmente en Europa, Asia y Norteamérica. Específicamente el mayor número de las empresas que se abastecen con este tipo de electricidad se localizan en Estados Unidos, Japón, Reino Unido, Suecia y Alemania. Como se observa en la Gráfica 5, ocho de los diez países con mayor número de empresas que reportan electricidad proveniente de renovables son países desarrollados. Mientras que los otros dos países, Sudáfrica e India, son economías emergentes.

Del total de empresas que se analizaron, se reportó que 111 adquieren la mayor parte de su electricidad proveniente de fuentes renovables. Estas empresas son del sector financiero, industrial y consumo discrecional. En este reporte se hace mención de tres sectores en especial: el de materiales, al ser el de mayor consumo energético, que incluye industrias como la minería, los metales, los productos químicos, la pulpa y el papel; el sector financiero al tener la mayor proporción de consumo de electricidad renovable; y el sector de tecnología de la información (TI) que es pionero en algunos de los modelos de abastecimiento corporativo más innovadores.

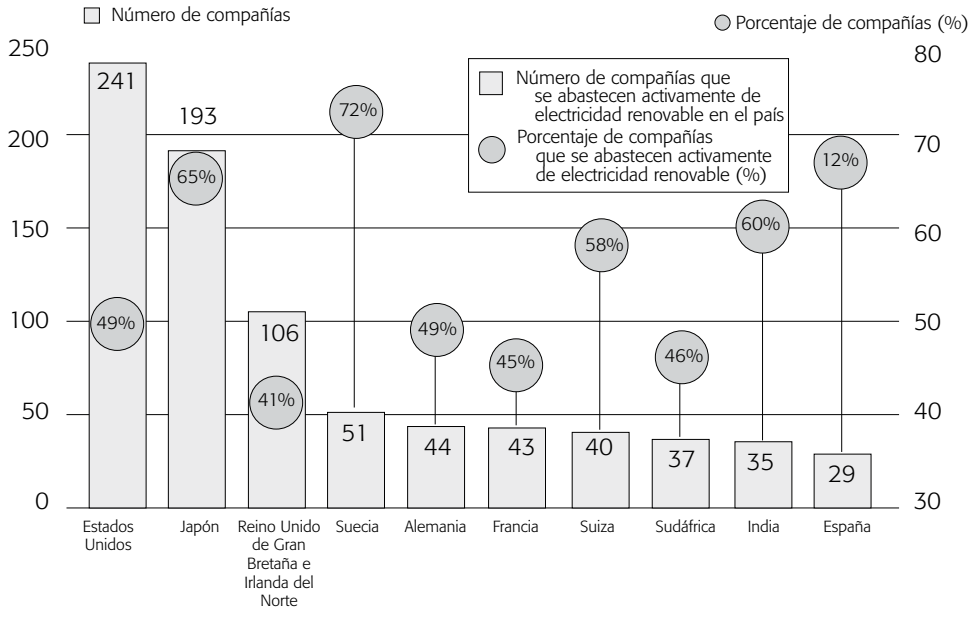
Las empresas (excluyendo a las del sector materiales) que tienen mayor electricidad proveniente de fuentes renovables, entre el 85% y 100%, son

Gráfica 5
Número de empresas que se abastecen de electricidad renovable en los diez países con mayor representación (traducción libre) [3]



18. Antonio.indd 408 12/17/19 16:44

Gráfica 6
Comparación intersectorial de fuentes de electricidad renovable (traducción libre) [3]



Apple Inc., Kohl's Corporation, Microsoft Corporation, BT Group y *H&M Hennes & Mauritz AB*. En cuanto al volumen total de electricidad renovable, las principales empresas incluyen *Microsoft Corporation, Intel Corporation, Volkswagen AG, Deutsche Bahn AG* y *Alphabet Inc.* (la compañía subsidiaria de *Google*), las cuales obtienen más de 2.5 TWh anuales.

Las empresas del sector materiales representan el 15% del total analizado, se destaca por consumir cerca del 60% de toda la electricidad renovable y casi el 90% de la electricidad renovable generada por empresas para su propio consumo. En promedio el 13% de toda de la electricidad consumida en 2016, es decir 165 TWh, por empresas de este sector proviene de fuentes renovables. Del cual 60% es de autogeneración y 30% de contratos de compra venta de energía.

Las compañías del sector materiales con mayor participación de fuentes renovables en la generación de energía son las dedicadas al papel y celulosa *Empresas CMPC* y *FIBRIA Celulose and Holmen*, la empresa minera y de metalurgia *South 32* y la compañía química *Akzo Nobel*. En cuanto a los mayores consumidores de electricidad generada por fuentes renovables fueron las empresas de minería y metales *Rio Tinto, South 32* y *Vale*, y los productores de aluminio *United Co Rusal PLC* y *Norsk Hydro*. Cabe mencionar que este sector se destaca por

18. Antonio.indd 409 12/17/19 16:44

ser el que comprende a los mayores usuarios de energía. Algunas de las fuentes de generación utilizadas son hidroeléctricas o residuos, ya que al ser prácticas establecidas ayudan en asegurar energía estable y al mismo tiempo mantener los costos operativos a un nivel competitivo.

En 2016, cerca de una cuarta parte de la electricidad utilizada por el sector del aluminio provino de hidroenergía y menos del 1% por otra fuente renovable. La empresa Norsk Hydro, una de las mayores productoras de aluminio en Europa, desde 2016 ha contratado 650 MW de energía eólica. La industria de la pulpa y el papel también se incluye como uno de los grandes usuarios de electricidad renovable. De la electricidad consumida por este tipo de empresas, el 20% proviene de recursos renovables, y 13% de las empresas que reportan mencionan tener un objetivo establecido. Más del 90% del consumo de electricidad renovable de estas empresas fue autogenerado. Se menciona que 40 de las 330 empresas (12%) en el sector de materiales informaron tener metas relacionadas a la utilización de electricidad renovable, de las cuales 11 tienen como objetivo el consumo de electricidad 100% proveniente de fuentes renovables.

Por otra parte, el establecer objetivos de electricidad renovable aún no es una práctica común entre las empresas. Tan solo el 17% del total de las empresas que integran el reporte mencionan haber adoptado metas en cuanto a electricidad renovable. De esos objetivos, aproximadamente tres cuartos están cerca de expirar antes del 2020, lo cual representa una oportunidad importante para enfrentar objetivos adicionales o más ambiciosos en los próximos años.

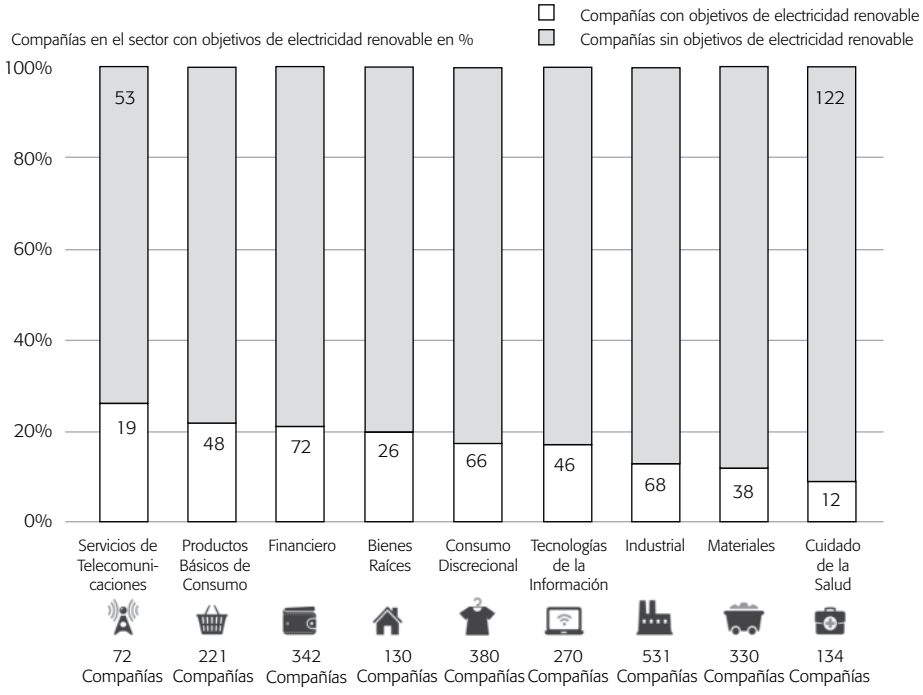
De las 416 empresas que reportan metas sobre electricidad renovable, hasta la mitad pretende obtener al menos el 80% de su electricidad de fuentes renovables. Como se puede observar en la Gráfica 7 es más común que las industrias con menor consumo energético hayan establecido objetivos con mayor participación.

IV. PROSPECTIVA DE LAS ER EN LA INDUSTRIA MUNDIAL AL 2050

Para 2050, la electricidad podría convertirse en el operador más importante de energía, pasando de una participación del 20% del consumo final a una participación de casi el 50% y, como resultado, el consumo bruto de electricidad se duplicaría. Un sistema de energía fundamentalmente eléctrico transformaría la forma en que interactúan el sector eléctrico y los usuarios. Para 2050, el 86% de la generación de electricidad sería renovable (Gráfica 8) y el 60% provendría de la energía solar y eólica. La energía eólica y solar fotovoltaica dominaría la expansión, con capacidades instaladas de más de 6,000 GW y 8,500 GW, respectivamente, en 2050. Los principales impulsores de este aumento de la demanda de electricidad serían más de mil millones de vehículos eléctricos, un mayor uso

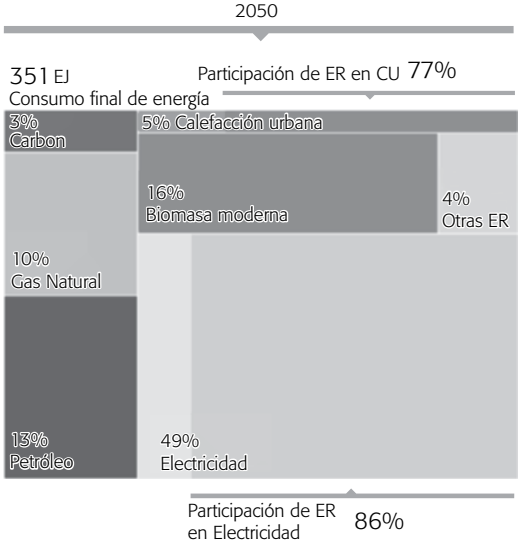
18. Antonio.indd 410 12/17/19 16:44

Gráfica 7
Adopción de objetivos de electricidad renovable por sector (traducción libre) [3]



Con base en esta situación IRENA ha construido un panorama para el uso de energía en el 2050.

Gráfica 8
Consumo final de energía por combustible Caso 2050 [4]



18. Antonio.indd 411 12/17/19 16:44

de la electricidad para calefacción y la aparición de hidrógeno renovable. En general, la energía renovable podría suministrar dos tercios de la energía final [4].

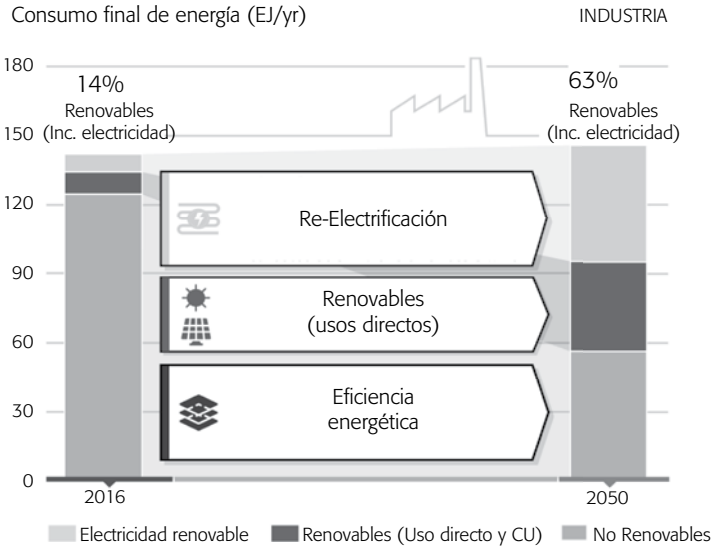
En 2016 el consumo final de energía renovable en la industria, incluida la electricidad, correspondió al 14% de acuerdo al estudio realizado por IRENA. Para 2050 se prospecta que este porcentaje puede llegar al 63%, para lo cual se deberá poner atención en tres áreas: electrificación, renovables y eficiencia energética. Al tomar en cuenta las acciones que se mencionan a continuación se podrá alcanzar el escenario que se muestra en la Gráfica 9. para el año 2050, incrementando la electrificación renovable y uso de energías renovables con usos directos.

Respecto al primer aspecto se deberá aumentar la electrificación con el uso de bombas de calor, hidrógeno para calor industrial y de proceso, uso directo de electricidad para procesos de calentamiento industrial, generación distribuida y eólica de pequeña escala. En cuanto al uso de renovables para usos directos se especifica el uso de energía solar térmica, biomasa para procesos de calentamiento y materias primas para biomasa. Por último, en el área de eficiencia energética se deberán mejorar procesos, reusar y reciclar, mejorar la eficiencia de materias y mejorar la eficiencia de motores.

Asimismo, se deberán realizar acciones para reducir el consumo de energía en la industria, para lo cual se pueden promover acciones hacia la economía circular e incentivar y adoptar las mejores tecnologías disponibles y estándares de eficiencia. Se deberá habilitar la fuente corporativa de renovables apoyando un sistema confiable y transparente para la certificación y seguimiento de atributos de energías renovables. Es necesario también considerar una estructura de mercado de energía que permita el comercio directo entre compañías de todos los tamaños y desarrolladores de energía renovable mediante acuerdos de compra de energía y para esto trabajar con empresas de servicios públicos. Para finalizar se deberá acelerar el despliegue de tecnologías bajas en carbón para procesos industriales de calentamiento por lo que se tendrán que eliminar las barreras existentes e incentivar el despliegue de tecnologías con bajas emisiones de carbono, dar soporte a tecnologías emergentes de biomasa e hidrógeno, utilizar hidrógeno para reemplazar la materia prima basada en combustibles fósiles y calor de proceso, e implementar un precio apropiado al carbón con los costos reales de las externalidades y la eliminación de los subsidios existentes para combustibles intensivos en carbón.

18. Antonio.indd 412 12/17/19 16:44

Gráfica 9
Consumo final de energía en la industria 2016 vs Caso 2050 (traducción libre) [4]



Con estos antecedentes se propone un escenario para la energía en México al 2050.

V. INDUSTRIA EN MÉXICO AL 2050

Con base en la información mostrada en los capítulos anteriores, del total de energía consumida por la industria en México, el porcentaje correspondiente a electricidad puede ser abordado con energías renovables. En 2017 la electricidad consumida por este sector fue del 30%, es decir, 566.69 PJ. Lo cual, de acuerdo a la tendencia mundial, se espera pueda ser generado por energía solar y eólica. Es importante mencionar que además de la generación de electricidad por medio de las energías renovables, también se considera que para 2050 el hidrógeno será una fuente importante tanto para el sector industrial como de transporte.

Si se toma como referencia el total de energía consumida a nivel mundial para 2050, donde la electricidad generada por fuentes renovables es 86%, considerando el consumo de 2017 en el país, la participación renovable podría ser de 487 PJ. O bien, de acuerdo al escenario específico para la industria a nivel mundial este porcentaje se fija en 35%, por lo que el escenario mexicano de acuerdo a esta cifra sería de 198 PJ.

18. Antonio.indd 413 12/17/19 16:44

Sin embargo, no hay que olvidar que esta cifra puede verse modificada por el aumento en la población, crecimiento económico y mayor eficiencia en los procesos realizados. Entre las cifras a considerar se espera para 2050 un aumento mundial de 1,700 millones habitantes y una economía global del triple del tamaño actual [4].

De acuerdo a esta tendencia, se debe considerar la eficiencia energética como un factor relevante en la prospectiva del consumo energético. Como consecuencia se puede esperar que los niveles de consumo no sean mayores, si bien se menciona el aumento en la población y economía, de acuerdo con la información de IRENA [4] para 2050 se podría consumir la misma energía que en 2016. Por lo que las políticas públicas del país deberán fortalecerse e impulsarse a nivel industrial, para que de esa forma las acciones que tomen todas las industrias vayan encaminadas a hacer más eficientes sus procesos; además de impulsar la investigación en el México para desarrollar tecnologías y materiales innovadores que permitan transitar hacia esto.

Para lograr hacer la integración de sistemas fotovoltaicos para la generación de electricidad un tema fundamental es la legislación sobre a la posibilidad que tengan los consumidores de producir y consumir energía, convirtiéndolos en "prosumidores". Actualmente en México se cuenta con la posibilidad de generar electricidad por medio del modelo de *Generación Distribuida*, sin embargo, es de suma importancia promover esta alternativa entre las empresas que de acuerdo a su consumo por tipo de combustible sean buenas candidatas. En este caso, las principales industrias que tienen mayor consumo de electricidad son: Fabricación de fertilizantes, Minería de minerales metálicos y no metálicos (excepto petróleo y gas), Fabricación de automóviles y camiones y Elaboración de productos de tabaco. Además, es indispensable contar con código de red adecuado y promover la digitalización de tecnologías que permitan administrar inteligentemente las cargas. Por lo que es y será importante revisar y actualizar la legislación y regulaciones correspondientes, de acuerdo a las necesidades reales del sector industrial para que sea posible el crecimiento de la generación de energía solar [4].

Para 2050 también será importante el aprovechamiento de energías renovables para usos directos, como se mencionó en el capítulo anterior estos comprenden: uso de energía solar térmica, biomasa para procesos de calentamiento y materias primas de biomasa. En este sentido podría realizarse la incorporación de estas energías para reemplazar al carbón, a los petrolíferos y al gas seco.

Específicamente los petrolíferos son consumidos en su mayoría por las industrias dedicadas a la Construcción, Fabricación de cemento y productos derivados del cemento en plantas integradas y Elaboración de refrescos, hielos y otras bebidas no alcohólicas, así como purificación de agua embotellada.

18. Antonio.indd 414 12/17/19 16:44

El gas seco es usado principalmente para Fabricación de vidrio y productos de vidrio, Elaboración de cerveza, Industria química, Industria básica del hierro y del acero, Fabricación de pulpa, papel y cartón, Fabricación de productos de hule y Elaboración de productos de tabaco. Finalmente, el carbón es utilizado por la Industria básica del hierro y del acero.

De acuerdo a los datos de IRENA [4], el consumo de combustibles fósiles en la industria tendrá una reducción del 86% a 37% En México el uso de este tipo de combustibles corresponde al 97% (incluida electricidad), por lo que si se mantiene la relación para la reducción en México el porcentaje de participación será del 48% (1,039 PJ). Si sigue la línea de esta reducción la participación de renovables será del 52%, manteniendo 35% de electricidad renovable (758 PJ) y 17% de otras renovables en usos directos (368 PJ). Es importante mencionar que estas cifras difieren de las mostradas en el inicio del capítulo para electricidad renovable, pues en este análisis se aborda el total de combustibles fósiles y los datos iniciales solamente tratan sobre consumo eléctrico.

Finalmente, la perspectiva para el 2050 es que debería propiciarse un cambio en la actitud de la industria y pasar de ser un consumidor pasivo y se transforme en un prosumidor exigente y participativo en la generación de la energía que usa; así como activo en uso y desarrollo de procesos energéticos eficientes que incrementen su productividad.

VI. BIBLIOGRAFÍA

[1] *Balance Nacional de Energía 2017*. Ciudad de México: Secretaría de Energía, 2018.

[2] "Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte 2018 (SCIAN 2018)", *INEGI*, 2019. [En línea]. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/app/scian/. [Accesado: 2-Jun-2019].

[3] IRENA (2018), *Corporate Sourcing of Renewables: Market and Industry Trends - REmade Index 2018*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

[4] IRENA (2019), *Global energy transformation: A roadmap to 2050 (2019 edition)*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

18. Antonio.indd 415 12/17/19 16:44

CAPÍTULO VI
UNA VISIÓN GLOBAL DE LA INDUSTRIA DEL FUTURO

19. Industria.indd 417 12/17/19 16:44

19. Industria.indd 418 12/17/19 16:44

La industria del futuro*

SUMARIO

I. La industria del futuro, un programa de excelencia industrial II. De la guía práctica de la industria del futuro a la guía tecnológica de la industria del futuro para pymes III. Un enfoque político de los países desarrollados IV. La industria del futuro en la nueva economía. V. La nueva generación de los sistemas de producción automatizados: los cyber - sistemas VI. Una dimensión tecnológica "digital", nuevos materiales y nuevos procesos de producción. VII. Una dimensión social más fuerte VIII. Principales desafíos de la industria IX. Principales desafíos de la evolución de los mercados X. Desafíos tecnológicos XI. Las tecnologías de la información y de la comunicación XII. Principales desafíos de organización XIII. Desafíos mayores desde el punto de vista medio ambiental XIV. Grandes retos a nivel social.

I. LA INDUSTRIA DEL FUTURO, UN PROGRAMA DE EXCELENCIA INDUSTRIAL

El 20 de julio de 2015, se creó oficialmente en Francia, la "*Alianza Industria del Futuro*" operador de la política pública industrial de Francia, para acompañar a las industrias francesas y en particular a las Pymes en la modernización de sus herramientas industriales y la transformación digital de su modelo económico, colocando *al ser humano en el corazón de la estrategia*. Se trata de posicionar nuevamente la industria al centro del desarrollo económico del país, lo que significa mejorar la competitividad de las empresas.

Muchos países perdieron este primer tren de modernización y ahora se ofrece una segunda oportunidad: la digitalización de la economía. La robótica y la industria del futuro se convierten respectivamente en los planes estratégicos. En abril del 2015 Emmanuel Macron, ministro de Economía, Industria, Innovación y Di-

* La presente investigación auspiciada por el Gobierno francés, se incluye en este libro bajo la autorización del Señor Alfred Rodríguez, Embajador en México de la Alliance Industrie du Futur y Presidente de la comisión de innovación y tecnología para la competitividad, Confederación de Cámaras Industriales de los Estados Unidos Mexicanos (CONCAMIN).

19. Industria.indd 419 12/17/19 16:44

gitalización, propuso una organización con un alcance más amplio incluyendo la modernización y digitalización de la industria, medios de intervención fortalecidos y una dimensión internacional más fuerte.

Además de la modernización en herramientas de producción se trata de acompañar a las empresas en la transformación de sus modelos de negocio, sus organizaciones, sus modos de diseño y marketing, en un mundo donde nuevas herramientas basadas en lo digital, la fabricación aditiva, los nuevos materiales o la robótica colaborativa rompen la brecha entre la industria y los servicios.

II. DE LA GUÍA PRÁCTICA DE LA INDUSTRIA DEL FUTURO A LA GUÍA TECNOLÓGICA DE LA INDUSTRIA DEL FUTURO PARA PYMES

Se seleccionaron las siete tecnologías claves para el desarrollo de la industria del futuro:

— digitalización de la cadena de valor
— automatización / transición/ robótica de procesos,
— fabricación aditiva
— Monitoreo y control
— compuestos y nuevos materiales / ensambles
— lugar del hombre en la industria
— eficiencia energética y huella ambiental / integración en el ecosistema.

La guía de la *Industria del futuro* pretende desmitificar *la Industria del Futuro*, concretizando y explicando cómo llegar a ella. Consiste en fichas explicativas que resaltan las palancas de la competitividad y ayuda a un empresario a actuar rápido.

GUÍA DE LA INDUSTRIA DEL FUTURO: DESAFÍOS Y PANORAMA DE SOLUCIONES

La Guía de la Industria del Futuro es una verdadera referencia que integra una lectura de la transformación empresarial más allá de referencias tecnológicas habituales, mediante palancas competitivas en la planta, para recurrir a una mayor competitividad, flexibilidad y un mejor impacto ambiental y social.

La *Industria del Futuro* se extiende hoy en aspectos que ya no están únicamente en el corazón productivo, sino en todo el entorno de las cadenas de valor y en las transformaciones de modelos de negocio de las empresas a través de la aportación digital.

19. Industria.indd 420 12/17/19 16:44

El mundo tiene que enfrentar problemas muy grandes como el calentamiento global, el agotamiento de los recursos naturales, el crecimiento de la población y la competitividad.

III. UN ENFOQUE POLÍTICO DE LOS PAÍSES DESARROLLADOS

Durante muchos años ha habido una disminución constante en la participación de la industria manufacturera en el PIB nacional. Por lo tanto, es necesaria una fuerte reacción para que las empresas encuentren de nuevo productividad, competitividad, rentabilidad, capacidades de inversión e innovación, y seguir participando en la competencia global.

Se trata de encontrar soluciones para desarrollar la competitividad de las empresas, especialmente en las PYMES. Esto significa satisfacer las necesidades de los clientes a través del desarrollo de un "marketing cliente "en lugar de un "marketing de productos", esto con la finalidad de aumentar la calidad y seguridad de los productos; y así poder avanzar hacia soluciones y servicios asociados, como parte de un trabajo colaborativo en red con las otras partes interesadas: proveedores, autoridades locales, actores académicos e I + D, etc.

La *industria del futuro*, tal como se describe en nuestro prólogo, es una de las respuestas para asegurar la competitividad de los países industrializados maduros.

IV. LA INDUSTRIA DEL FUTURO EN LA NUEVA ECONOMÍA

La nueva economía se caracteriza por las siguientes tendencias principales, que son tanto retos como oportunidades para la *Industria del Futuro*:

1. Un nivel global mucho más desarrollado, compartido y centrado en la optimización. Para la Industria del Futuro, esto se refiere a los problemas de optimización de la cadena de proveedores, las plataformas de colaboración global, los sistemas de trazabilidad y de economía energética y ecológica.
2. A nivel local, el de la burbuja de software del usuario (el conjunto de interfaces fijas o nómadas a las que tiene acceso) y sus usos, por lo que se ponen a disposición del usuario todos los servicios que necesita para realizar su función con el máximo de potencia (empoderamiento). Para la *Industria del Futuro*, este es el que se busca cuando se habla de la visión de "*El hombre en el centro de la fábrica*".
3. Un nivel intermedio que era antes muy burocrático y obeso, y que en la nueva economía esta automatizado, rápido sin intermediaros. Es gracias al Internet de las Cosas (local) conectada al Big Data (global) que este nivel intermedia-

19. Industria.indd 421 12/17/19 16:44

rio se puede hacer muy simple, y sobre todo automatizable. Para *la industria del Futuro*, este nivel es el de la modelización y el control de las líneas de producción, las líneas logísticas de los procesos y los flujos de valor requeridos para prestar servicios, útiles para los agentes de producción (mantenimiento, formación, etc...).

La *Industria del Futuro* es parte de esta revolución. Como tal, el proyecto se diferencia a muchos otros proyectos internacionales que enfatizan exclusivamente en la automatización y lo modular de los sistemas de producción (cibersistemas). La automatización es importante, pero aún se basa en los principios de la antigua economía y no aborda las preguntas planteadas por los "nativos digitales" o los "makers". El programa de "*La industria del Futuro*" tiene la ambición de abordar todos los niveles de la industria, así como aspectos de la nueva economía.

La nueva economía también será la revolución de la experiencia: después del desarrollo de los productos y de los servicios relacionados con el producto, la experiencia procurada por el producto y los servicios asociados se convierten en un elemento crítico. Caracteriza el sentimiento del usuario en el uso, primero en el mundo virtual, luego en el mundo real. Es un parámetro clave en una economía centrada en los usos.

V. LA NUEVA GENERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AUTOMATIZADOS: LOS CYBER - SISTEMAS

A mediados de la segunda mitad del siglo XX se produjo la tercera revolución industrial, inspirada por el desarrollo de la electrónica, las telecomunicaciones, la computación y el audiovisual. Hoy, una cuarta revolución industrial está en marcha para los sistemas automatizados, basados en el aumento de la velocidad de procesamiento de las capacidades de la información y las capacidades de memoria, así como el desarrollo masivo de redes de comunicación.

Esta nueva mutación tecnológica vinculada a la llegada de la tecnología digital y caracterizada por la interconexión total de máquinas y sistemas dentro y fuera de los sitios de producción, abre el camino de una nueva organización de los medios de producción, así como en las etapas de suministro, producción y distribución de los productos.

Esta nueva revolución industrial de la automatización se basa particularmente en la introducción masiva de sistemas ciber físicos, que pueden definirse como sistemas embebidos, complejos y diseñados para interactuar con su entorno a través de la combinación de elementos físicos, informáticos y de comunicación. Además de esta comunicación máquina a máquina, las tecnologías de la información se multiplicaron, brindando posibilidades de comunicación entre colabo-

19. Industria.indd 422 12/17/19 16:44

radores del mismo sitio, diferentes sitios o diferentes empresas, para lograr un mayor intercambio y cooperación.

La calidad de estas relaciones fomentará el surgimiento de una inteligencia colectiva que puede constituir un factor importante en la eficiencia de los equipos en las empresas. El concepto de la *Industria del Futuro* no se trata solo de optimizar las soluciones existentes, sino también integra transformaciones reales aportando nuevas soluciones para las tecnologías y modos de organización. Conduce a la producción industrial por medio de dimensiones múltiples: técnicas, organizativas, económicas, humanas y sociales.

Varias formas de evolución de los sistemas de producción son ahora presentadas en muchas publicaciones: personalización de productos del mercado de grandes series (personalización masiva), flexibilidad de la herramienta industrial, economía circular (reciclabilidad de materiales, limitación o eliminación de residuos, etc.), economía de la funcionalidad, economía del conocimiento, establecimiento de comunidades de fuerte interoperabilidad, innovación colaborativa, entre otras.

VI. UNA DIMENSIÓN TECNOLÓGICA "DIGITAL", NUEVOS MATERIALES Y NUEVOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN

Nuevas herramientas de comunicación de la empresa extendida se están desarrollando e implementando con el Impacto de la *Industria del Futuro*: cloud computing, big data, redes sociales, espacios colaborativos, internet de las cosas, etc. El acceso a nuevas herramientas digitales permitirá acelerar la adopción de las técnicas de fabricación más avanzadas, acompañar en la transición energética y mejorar las condiciones laborales de los operadores.

Los datos están en el corazón de la estrategia empresarial y construyen redes de sensores en las fábricas del mañana que producirán continuamente información sobre los procesos de producción y gestión de inventario. Serán conectados permanentemente con los productos que han fabricado. Todos estos datos serán analizados para optimizar el mantenimiento y mejorar la calidad. Para valorizarlos es necesario tener en cuenta las peculiaridades de estos datos masivos, heterogéneos, debido que requieren de un tratamiento rápido.

El reto es transformar los datos brutos en información con alto valor agregado, permitiendo una producción más rápida, con una mejor calidad y un menor costo. Habrá que desarrollar una estrategia para evitar un esfuerzo (en dinero, en tiempo) para procesar información innecesaria o viceversa perder oportunidades para la creación de valor al no utilizar la información disponible. La *Industria del Futuro* podrá optimizar sus sistemas de información, dimensionar lo útil, incluso cambiar su tamaño regularmente y a un alto nivel.

19. Industria.indd 423 12/17/19 16:44

Los productos del futuro hechos en nuestros países serán cada vez más complejos y hechos de materiales inteligentes. Estarán conectados, interoperables, seguros y utilizarán las tecnologías constantemente modernizadas y métodos avanzados de producción: (producción silenciosa, fabricación aditiva / impresión 3D, sensores inteligentes, robots, Inteligencia colaborativa, Inteligencia artificial, entre otros).

Los productos del futuro se integrarán con de materiales cada vez más complejos, para que cada uno de ellos aporte su ventaja específica en el producto final (ligereza, conductividad, resistencia, dureza, etc.). En la creciente diversidad de materiales, se añaden nuevos materiales metálicos, compuestos, nanomateriales, biomateriales, etc.) de combinaciones cada vez más variadas entre ellas y las tecnologías de montaje son, por lo tanto, uno de los puntos clave de la *Industria del Futuro.*

En este contexto, la ciberseguridad se está convirtiendo en un desafío importante: el establecimiento de prevención de la piratería de datos y el riesgo de poder tomar el control de la producción remotamente es primordial. *La Industria del Futuro* será colectivamente consciente de sus ventajas competitivas y se organiza para identificar y preservar lo mejor de su información estratégica.

Además de los medios técnicos, la protección pasará también mediante la sensibilización de los futuros jugadores de la industria sobre el valor financiero de estos activos inmateriales.

VII. UNA DIMENSIÓN SOCIAL MÁS FUERTE

Otro desafío para la *Industria del Futuro* radica en una evolución radical de la visión de la Industria por el ciudadano. Tiene que valorizar la industria para atraer talentos y motivar los jóvenes, colocando a hombres y mujeres en el corazón de la *Industria del Futuro*: Asociar los empleados en el proyecto de la empresa, su estrategia, sus opciones tecnologías (ingeniería colaborativa, innovación abierta), el desarrollo de responsabilidad social corporativa (RSC), el bienestar de los empleados y su formación a lo largo de la vida laboral. El compromiso de los empleados con el proyecto empresarial solo puede alentar su compromiso y su participación.

Su enfoque coloca al hombre y a la mujer en el corazón de la Industria del Futuro y le permite distinguirse a nivel internacional. La tecnología y la organización permiten cumplir tareas difíciles y repetitivas para que se centre en tareas de alto rendimiento y de valor agregado. La *Industria del Futuro* se basa en un conjunto de ladrillos que los fabricantes pueden montar, integrar y utilizar según sus necesidades.

19. Industria.indd 424 12/17/19 16:44

VIII. PRINCIPALES DESAFÍOS DE LA INDUSTRIA

- Desafíos de la evolución de los mercados
- Desafíos tecnológicos
- Desafíos organizacionales
- Desafíos en el plan del medioambiente
- Desafíos sociales

Emprender, es tomar riesgos en el desarrollo de nuevas ideas y estas se traducen en nuevos productos o servicios que se van al mercado. El éxito también dependerá mucho de la naturaleza innovadora de la nueva propuesta y la capacidad de embonarlas a las condiciones económicas del "Mercado".

El espíritu empresarial busca día tras día consolidar su oferta, mejorándola. Esta mejora puede ser tanto de la misma naturaleza de la propuesta como en la manera en que se produzca. Para las actividades industriales, la herramienta de producción en su ecosistema es un componente crítico. Dentro del ecosistema, todas las reglas (requisitos, normas, etc.) y los factores costos (niveles salariales, impuestos, etc.) sé identifican, lo que hace la diferencia es la manera de hacerlo. El cliente más que nunca conduce a la empresa y son los hombres los que lo hacen mediante la implementación de nuevas tecnologías. El consumidor, productor o no, se invita también en este movimiento, pidiendo que sea cerca de donde viven y trabajan, que se cuide el impacto ambiental de los productos y las consecuencias del proceso de industrialización. A diferencia de ayer, estas consideraciones deben tenerse en cuenta simultáneamente.

La *Industria del Futuro* busca precisamente abarcar todas estas preguntas.

1er desafío: La evolución de los mercados.

No hay negocio sin clientes, no hay clientes sin tomar en cuenta sus expectativas, las ofertas alternativas y el valor de la oferta.

2do desafío: La oferta tecnológica.

Para tener una oferta competitiva, los sistemas de producción conectados permitirán mantenerse lo más cerca del cliente; nuevos métodos, componentes inteligentes y los nuevos materiales ampliarán la oferta para hacerla más competitiva.

3er desafío: Un nuevo modelo de organización.

Rediseñar los procesos de industrialización se harán con una organización donde el ser humano en el trabajo tendrá más responsabilidades, donde la organización será más didáctica y más colaborativa.

4to desafío: El medio ambiente es inevitable.

19. Industria.indd 425 12/17/19 16:44

En la actualidad ya no hay más producción sin tener en cuenta los aspectos ambientales. La *Industria del Futuro* no sólo lleva su propio impacto como un dato constituyente, sino que también hay que diseñarlo con este modelo.

5ª desafío: La dimensión social.

Por último, la producción implica el reconocimiento de la demografía, competencias y lugares de vida. La *Industria del Futuro* estará integrada en la ciudad. La *Industria del Futuro* pone al ser humano en el centro de esta excelencia operacional.

A través de estos cinco desafíos, se trata de encontrar soluciones para permitir a las empresas permanecer en la carrera económica mundial. Hay que desarrollar, por lo tanto, la productividad, el valor agregado y la capacidad para la innovación, la inversión y en última instancia, la competitividad y la rentabilidad de las empresas, particularmente con las Pymes.

Cada empresa será capaz de dar forma a su "industria" de acuerdo con sus clientes, lo que produce y sus competencias; cada equipo podrá definir las condiciones que le son propias para una producción renovada innovadora y competitiva, fuente de crecimiento y de empleos.

Cada planta es y seguirá siendo diferente. Cada proyecto es único y personalizado; cada empresa deberá poder, dependiendo de su tamaño, seleccionar sus pistas de acciones.

IX. PRINCIPALES DESAFÍOS DE LA EVOLUCIÓN DE LOS MERCADOS

Durante muchos años, los mercados se globalizaron. Las empresas y los sistemas de producción estaban en un nuevo contexto, más complejo que el anterior, donde las limitaciones y objetivos se dividían de manera diferente. Las nociones de rendimiento y eficiencia se ampliaron para incluir a corto como a largo plazo una dimensión ética. El rendimiento será garantizado en un entorno internacional donde las incertidumbres y las variantes técnicas, económicas, ecológicas, sociales y humanas nunca ha sido tan importantes y rápidas.

Lo esencial de la competitividad es más de la calidad de los productos y servicios relacionados con la riqueza y su grado de innovación que únicamente con los costos. La estrategia de crecimiento de una empresa es mejorar la calidad y el nivel de servicio de los productos, con el fin de aumentar su facturación por mejores precios de venta de sus productos o mantener y aumentar las ventas por la ventaja de la calidad del producto. Esto es en parte, el enfoque opuesto al de la reducción de costos y bajos precios.

El ritmo elevado de los avances tecnológicos y su distribución masiva son fuentes permanentes de la innovación, tanto en las soluciones y el uso como en las técnicas de organizaciones y de producción.

19. Industria.indd 426 12/17/19 16:44

EL CAMBIO IMPULSADO POR EL CLIENTE

Los requisitos cambiantes de los clientes orientan la producción: es un nuevo enfoque para el consumismo al cual hay que responder para crear la riqueza compartida y generar empleos. Pasamos a un mercado de oferta personalizada que requiere de una nueva organización de la producción.

Los grandes centros de producción de suministro de productos estándares a la más grande zona geográfica dejarán cada vez más el espacio a sitios regionales más pequeños, diseñados para proporcionar productos que cumplan la demanda local, con medios de producción adaptados a series más modestas, respondiendo a mercados cada vez más volátiles e imprevisibles. Esta apuesta consiste en responder a las necesidades de los clientes mediante el desarrollo de un marketing de clientes en lugar de un marketing de productos, para crear más funciones a los productos, para avanzar hacia soluciones globales y servicios asociados, aumentar la calidad y la seguridad de los productos, un mejor control de su producción con tecnologías de producción más competitivas y adaptadas a las necesidades de los mercados.

En este contexto, *la Industria del Futuro* será más competitiva, debido a que sabrá detectar antes y mejor que sus competidores, las necesidades futuras de su mercado, en términos de productos, de servicios y mejora de procesos. Es natural pensar en grandes volúmenes de datos (Big Data), o el Internet de los objetos. Pero el hombre tendrá su lugar en particular por su creatividad, su propio espíritu corporativo y su capacidad de escucha de los clientes.

PROCEDIMIENTOS ADAPTADOS

La Industria del Futuro se nutre de procesos flexibles y ágiles para la producción de objetos de manera económica y competitiva. La *industria del futuro* debe evolucionar rápidamente con el ritmo acelerado de la puesta en el mercado de nuevos productos. La flexibilidad y el rediseño constituirán entonces desafíos claves.

Los mercados actuales se caracterizan más por sus variaciones, tanto al nivel de cantidades a industrializar o a vender por el período de las funciones de los productos, que se adaptaran a necesidades cada vez más específicas, en el contexto de reducción de plazos de puesta en el mercado. Los sistemas de producción del futuro deberán ser rentables, flexibles y reactivos.

DISEÑAR FUNCIONALIDADES MÁS QUE PRODUCTOS

La competencia internacional que enfrentan los proveedores de productos y de equipamientos les obligan a conservar y desarrollar sus posiciones en sus mer-

19. Industria.indd 427 12/17/19 16:44

cados y de elevar la gama continuamente de su oferta. Desde hace mucho las características técnicas y la calidad intrínseca de los productos son factores de diferenciación. Hoy, los proveedores deben dar aún más valor a sus clientes mediante la integración de múltiples funciones de uso del producto y los servicios asociados. Una gran parte de estas funciones debe adaptarse a los grandes retos de la sociedad (envejecimiento de población, la salud, la seguridad y la libertad, la movilidad, las relaciones sociales, la transición energética, etc.) aún no se ha inventado. La etapa final es vender el uso de un producto, más que el propio producto. No vender el producto sino compartir la experiencia

Más allá de la adaptación permanente de las instalaciones de producción para el cambio de la industrialización de los productos, esas tendencias requieren cambios profundos de marketing, con el fin de entender y anticipar las necesidades y expectativas de sus clientes (consumidores finales o intermedios industriales) y de organización de la empresa, para proporcionar los servicios asociados. En este contexto, Las empresas deben organizar y estructurar una inteligencia de negocios para supervisar las evoluciones (tecnológicas, la competencia, reguladoras, etc.) y detectar señales débiles para mejor anticipar.

Estas mutaciones son incluso más rápidas que lo que la industria integra verticalmente en toda la cadena de valor. El sector industrial no escapa a estos problemas: el proveedor de productos intermedios integra cada vez más el uso final de los productos y contribuirá al desarrollo de su mercado (por ejemplo, el alivio y la fuerza de estructura de un material compuesto), y el industrial de la máquina de producción, en el corazón de la *Industria del Futuro*, integrará múltiples funciones de procesos, mantenimiento, trazabilidad, etc., más allá de las representaciones estándares de calidad y productividad.

X. DESAFÍOS TECNOLÓGICOS

El reto consiste en entregar al cliente el objeto técnico y sus características conformes a la demanda en el menor tiempo posible, y al precio negociado. Asegurarse de recibir el producto solicitado en las condiciones previstas en el tiempo adecuado, es un factor esencial en la toma de decisión y lealtad del cliente. La rápida adaptación de procesos para los productos personalizados (pequeña y mediana serie) pasa por el desarrollo de nuevos procesos de industrialización ágil: la capacidad para reconfigurarse a sí mismo muy rápidamente de acuerdo a la demanda con la interoperabilidad entre las máquinas y la mejora de la cooperación entre todos los actores de la cadena de valor.

19. Industria.indd 428 12/17/19 16:44

LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LA BASE DE LA COMPETITIVIDAD

Las nuevas tecnologías, que sean integradas en el proceso de producción o en el producto, serán una palanca importante para permitir a las empresas ofrecer soluciones mejoradas, más seguras, más flexibles, confiables y competitivas. Constituyen un vasto campo de mejora de la competitividad global de la empresa. Por tanto, es esencial reducir los tiempos de innovación, el diseño, la producción, la distribución a través del uso. Los modelos sólidos y el intercambio de datos digitales, adoptando procesos de gestión, diseño, industrialización y distribución el más adecuado para estos intercambios.

El desarrollo y la combinación de nuevas tecnologías como la nanotecnología, la microelectrónica y la nano electrónica, los materiales avanzados, sistemas de producción avanzada, del Internet de las cosas, almacenamiento en la nube, energía, mecatrónica, tienen un fuerte impacto en el producto y los futuros sistemas de producción. Los principales problemas estarán relacionados con ambas tecnologías (principios físicos, modelado y simulación, aplicaciones) como tales, sino también en su diseño, su implementación y su interacción con los usuarios

Así como la interoperabilidad, la seguridad es un tema importante de la industria conectada. Los industriales deberán ahora cumplir con ciertas exigencias en materia de seguridad cibernética. La modernización de la base productiva pasa por nuevos procesos, la adquisición de nuevas competencias, nuevas formas de control de la producción. Todas las tecnologías necesarias no son aún disponibles.

LA INDUSTRIA DIGITAL Y CONECTADA

La industria del futuro se fundamenta sobre varios ladrillos tecnológicos, uno de los cuales es transversal a todos los demás, el ladrillo relativo a las Tecnologías de la Información y Comunicación TIC, para integrar y conectar juntos con los otros ladrillos o tecnologías:

Tecnologías de Información y Comunicación:

- Un diseño colaborativo con una comunicación continua, información instantánea e integrada del proceso de producción (diseño, industrialización, logística y mantenimiento) así como los productos industrializados,
- La simulación del producto, del proceso, del lugar de trabajo e incluso de la fábrica, la logística y la cadena de suministro, de la economía circular.
- El autodiagnóstico y la adaptación de los Procesos y equipos de la producción y el monitoreo continuo de los productos.

19. Industria.indd 429 12/17/19 16:44

- Se trata de una plataforma que permita la conexión de cada uno de los procesos de la industria: Biblioteca de la fábrica digital, la ingeniería digital, nuevas herramientas de comunicación de la compañía, Internet de las cosas, etc...

Los otros ejes tecnológicos, inseparables del concepto de la industria del futuro son:

- Los nuevos procesos de industrialización ágiles para responder rápidamente a los cambios en la demanda (cantidad, la calidad, la evolución la adaptación del producto a las necesidades específicas...) que pueden reorganizarse rápidamente: asignación de operadores, reorganización del taller, interoperabilidad de los equipos, relación flexible e interactiva con la red de proveedores.
- Las máquinas inteligentes: equipamientos de producción capaz de integrar componentes inteligentes y utilizarlos para satisfacer una función específica. La complejidad de las necesidades de información y las necesidades tratadas calificaran el nivel de inteligencia de los equipamientos.
- Los nuevos materiales: los productos del futuro consistirán en materiales de asociación cada vez más complejo de manera que cada uno de materiales proporcione una ventaja específica al producto final (Luminosidad, conductividad, resistencia, dureza...).
- Control, seguimiento, trazabilidad:
- Sensores miniaturizados, eficiencia energética, en autonomía de decisión
- Las nuevas técnicas de procesamiento de señales e imágenes digitales.

XI. LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y DE LA COMUNICACIÓN

INGENIERÍA DIGITAL - MODELIZACIÓN Y SIMULACIÓN

Herramientas para modelizar y simular el funcionamiento de un producto o de un proceso (incluyendo el puesto de trabajo) en un entorno digital homogéneo en todo su ciclo de vida, economía circular, ecodiseño, etc. Estas herramientas ayudan a desarrollar los procesos y optimizarlos en el mundo virtual, a muy bajo costo una vez que la inversión inicial de digitalización se realizó. Esta es la implementación de muchas simulaciones realizadas de forma iterativa, con la participación de todas las disciplinas con el fin de encontrar los óptimos técnicos y económicos para los productos y procesos de industrialización.

El prototipado virtual o gemelo digital permite, antes de la realización, mostrar una realidad virtual diseñada para representar el objeto con mayor exactitud posible. Permite más fácilmente cualquier cambio sin el uso de prototipos físicos. El Prototipo virtual permite ahorro de tiempo en pruebas de funcionalidad y de la

19. Industria.indd 430 12/17/19 16:44

integración al medio ambiente. La realidad aumentada se refiere a los sistemas informáticos que hacen posible la superposición de un modelo virtual 3D o 2D a la percepción naturalmente de la realidad y esto en tiempo real. Se refiere a los diversos métodos que permiten de manera realista superponer objetos virtuales en una secuencia de imágenes. Se aplica también a la percepción visual (superposición de imagen virtual a imágenes reales) como táctil y percepciones auditivas. La realidad aumentada permite comparar de forma precisa lo virtual (que hemos planeado hacer) con la realidad (lo que existe y vemos). Esta tecnología es clave, en particular, para garantizar el cumplimiento de las especificaciones, pero también para instrucciones, la formación, etc. En la industria, sus aplicaciones son múltiples y tocan a la concepción, el diseño, el mantenimiento, el montaje, el control de mecanismos, la robótica, la ejecución y la evaluación del impacto.

SOFTWARE DE LA FÁBRICA DIGITAL

Varios softwares constituyen la biblioteca de la industria digital que permite el diseño y la industrialización, la gestión del ciclo de vida del producto, la programación de la producción, la gestión de la producción y del mantenimiento:

- Diseño e industrialización (CAD/CAM/CAE)
- Biblioteca de Componentes
- El sistema de programación de la producción
- Paquetes de software de gestión de la producción y el mantenimiento
- Supervisión: herramienta de colaboración con 360 ° de visión del proceso
- Redes de Innovación Social
- Gestión del ciclo de vida (PLM).

Hoy en día, existen plataformas completas que asumen cada una de estas funciones.

INTERFACES Y PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN DE LOS SISTEMAS

El Internet de las Cosas permite conectar de forma muy sencilla los objetos entre ellos. También permite acoplar objetos a los sensores, o complementar sus funciones básicas con servicios adicionales de valor añadido. Finalmente se conecta toda esta información en grandes volúmenes de datos en la nube, para promover estos datos a nivel mundial. Una aplicación particularmente importante es el uso de sensores Tipo RFID u otro para detectar la presencia de un producto durante la producción, obtener a través de la nube, la historia de este producto y sus propiedades, así como listas de tareas, instrucciones y el destino final del producto.

19. Industria.indd 431 12/17/19 16:44

Este tipo de dispositivo puede controlar la producción directamente a partir de etiquetas, más ligeros que a partir de los sistemas centralizados.

INTERCAMBIOS SEGUROS DE INFORMACIÓN

La seguridad informática es el conjunto de medios técnicos, de organización, jurídico y humano para preservar, restaurar y garantizar la seguridad del sistema de información. La seguridad es un tema importante para las empresas. Su objetivo a largo plazo es mantener la confianza de los usuarios y clientes. El propósito a mediano plazo es la consistencia de todo el sistema de información. En el corto plazo es que todos tengan acceso a la información que necesitan.

EL INTERNET DE LAS COSAS

Es una "infraestructura global para la sociedad de la información, que permite disponer de servicios avanzados interconectando objetos (físicos o virtuales) a través de la tecnología de la información y de la comunicación interoperables existentes o en evolución". Es una "red de redes" que permite, a través de sistemas de identificación electrónica estandarizados y unificados, y de dispositivos móviles inalámbricos, de identificar directamente y sin ambigüedades entidades digitales y objetos físicos para poder recuperar, almacenar, transferir y procesar sin discontinuidad entre los mundos físicos y virtuales, los datos relativos a ellos ". Con el Internet de las cosas, el objeto físico se convierte a través de la inteligencia software asociada un actor real en las cadenas de valor o los procesos en el que se dedican, al igual que los son los seres humanos, las organizaciones o algunos sistemas de información.

INTERNET MÓVIL, EL CLOUD COMPUTING, APLICACIONES INDUSTRIALES ORIENTADAS A LAS REDES SOCIALES

El Internet móvil es el conjunto de las tecnologías de acceso a Internet más allá de las estaciones de trabajo, de las PCs fijas para hacerlas accesibles con terminales y redes móviles. El despliegue de los teléfonos inteligentes y las tabletas equipadas con pantallas de alta definición y el acceso a las redes móviles 4G en las plantas facilita el acceso a la Internet móvil; los desarrollos de sitios web y de muchas aplicaciones móviles dedicadas a estos teléfonos inteligentes han acelerado la difusión de Internet móvil.

La *industria del futuro* utilizará dispositivos que faciliten el intercambio de información (chips RFID, tabletas táctiles); Esta conectividad proporciona más eficiencia a los operadores y también le permite controlar la producción a distan-

19. Industria.indd 432 12/17/19 16:44

cia. La máquina envía información sobre el proceso en curso para constituir cuadros de mando, para emitir advertencias...Por ejemplo, los productos con un chip RFID almacenará la tarea y las condiciones de su producción, lo que les permite controlar los datos correctos de su producción. Cuando el producto avanza en la cadena de producción, las informaciones se actualizan.

El Cloud computing o la computación en nube, es un sistema de información y de servicios realizados a través de Internet, para ofrecer y utilizar aptitudes de los sistemas informáticos, que se basa en las nubes: un parque de máquinas, equipos y softwares de red mantenidos por un proveedor que los consumidores pueden usar en autoservicio a través de una red. El Cloud computing o computación en la nube es un conjunto de procesos que permite utilizar la potencia de cálculo y/o de almacenamiento de servidores distantes a través de una red, normalmente Internet. Estos servidores se alquilan a la demanda, por lo general de acuerdo a criterios técnicos (potencia, ancho de banda. El Cloud computing se caracteriza por su gran flexibilidad de uso: según el nivel de competencia del usuario, es posible gestionar su servidor por sí mismo o utilizar las aplicaciones remotas.

Según la definición del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST), el cloud computing es el acceso a través de una red de telecomunicaciones, en la demanda y en autoservicio, a recursos informáticos compartidos configurables. Se trata entonces de una reubicación de la infraestructura de computación.

BIG DATA

El Big data o los grandes volúmenes masivos de datos, es una expresión anglosajona usada para referirse a conjuntos de datos muy grandes que se vuelven difíciles de trabajar con herramientas clásicas de gestión de base de datos. Estos métodos y herramientas para el procesamiento rápido de grandes cantidades de los datos no estructurados, permitiendo en particular, dar orientación con una probabilidad asociada de ocurrencia de un evento. El Big Data permite, por ejemplo, analizar los datos de producción con el fin de deducir la combinación de parámetros que ha llevado a una situación de falta de calidad, permitiendo así la prevención de tales situaciones y la mejora continua del proceso

FABRICACIÓN ADITIVA

La fabricación aditiva incluye todos los procesos de maquinado, mediante la adición de material capa por capa en un objeto físico a partir de un modelo digital, que incluye: fabricación directa, prototipado rápido y la impresión 3D. Existen varios procesos que se diferencian en cómo depositan las diferentes capas de

19. Industria.indd 433 12/17/19 16:44

materiales. El uso de múltiples polvos permite la creación de piezas creadas de la fusión de varios materiales. La inserción de sensores en materiales hará que los productos del futuro sean cada vez más inteligentes.

Ejemplos de fabricación aditiva:

- Para polímeros: alambre, láser
- Depósito para el metal: SLM (fusión de la cama con láser en polvo), MBE (Fusión de polvo de cama por haz de electrones), DMD (Proyección de polvos fundidos con un haz de láser).

FLEXIBILIDAD - PROCESOS DE FABRICACIÓN CONVENCIONALES

Los procesos de fabricación (mecanizado, forja, corte / estampado, empaque, montaje...) tienen su lugar en la *Industria del Futuro*. El reto es conocer la implementación de estos procesos que tiene a priori dominados, las innovaciones tecnológicas y digitales que permitieron adaptarse, de costo controlado, a los cambios en la demanda del cliente (tamaño de serie, la calidad, la personalización de productos, etc.) y el medio ambiente.

Los objetivos son:

1. Dar agilidad a los procesos:
   - Evitando la producción de herramientas costosa y que consumen mucho tiempo.
   - Apoyándose en la modelización para el diseño de piezas, gamas y herramientas (reducción del tiempo de inicio de la serie)
   - Equipándose de máquinas y equipos para ahorrar tiempo de ciclo y de programación, incluso con equipos de mecanizado robotizado,
   - Facilitando / automatizando la manipulación de piezas en las máquinas / equipos
   - Proporcionando flexibilidad en la gestión de la producción a través de una Integración creciente.
   - Poniendo la aplicación de nuevos materiales de mayor rendimiento.

2. Control / optimizar la calidad / funcionalidad de las piezas y minimizar los residuos
   - La aplicación de métodos de control "in situ" que permitirán comprobar los objetivos de calidad necesarias para garantizar el cumplimiento del proceso y / o de alerta temprana de las acciones de mantenimiento requerido (control a dentro de la herramienta o la salida de línea),
   - Dotarse de máquinas de auto regulación instrumentados,

19. Industria.indd 434 12/17/19 16:44

- La incorporación de las operaciones de fabricación indirectas de herramientas (tratamiento térmico, montaje...).
- Capitalizar el trabajo de know-how y la experiencia a través de herramientas en línea, que facilitaran el análisis de los conocimientos y toma de decisiones tanto para el diseño de piezas y herramientas para la mejora continua de las operaciones de fabricación.
- Reducir el consumo energético y el impacto ambiental, Apoyándose con la simulación para optimizar la transferencia de energía,
- Reducir / eliminar la lubricación.

FUNCIONALIZACIÓN DE SUPERFICIE

Los requisitos para la tribología y las superficies de las piezas se están convirtiendo cada vez más elevadas y multifuncionales.

Los objetivos son:

Aplicar los procesos más innovadores en términos de rendimiento y de Costo:

- Mediante la investigación de nuevos procesos: tratamientos por vías secas por ejemplo (plasma, vapor, polvos de proyección...) y el tratamiento híbrido (Dúplex).
- El desarrollo de la robótica para colgar y mover las piezas de trabajo cuyo programa se reorganizarán para permitir mejor gestión del flujo en los talleres,
- Confiar en el desarrollo de Gestión de mantenimiento y el control de parágrafo de los procesos de producción para controlar mejor el proceso,
- Apoyándose en la simulación para elegir la mejor pareja materiales /procesos.

Responder a los problemas ambientales y de salud (instalaciones, importancia de los criterios ecológicos,) con las soluciones que responde a las especificaciones funcionales:

- Modernización de Equipo ligado al proceso en sí, sino también el equipo asociado,
- La aplicación de métodos alternativos limpios: deposito sol-gel, aplicable a los metales más comunes y siendo depositado a partir de deslizadores compuestos no tóxicos sin CMR (cancerígenos, mutágenos y reprotóxicos), los líquidos iónicos.

Mejorar las propiedades del servicio y / o la realización de materiales con adición de características innovadoras de la superficie de las piezas (funcionalidades a veces combinadas): eléctrico, óptico, magnéticas, catalizadores, tribológicas, estética y antibacteriano:

19. Industria.indd 435 12/17/19 16:44

- Depender de tecnologías de superficie micro nano estructurado (Texturizado láser, granallado, pase la piel...)
- Optimizando procesos ya desarrollados (tratamientos superficiales (PVD, ECV), granallado, cementación, carbonitruración, etc.)
- La implementación de un proceso combinado: las piezas que forman mecanizado-formado, moldeado plástico con la modificación selectiva por láser integrado al molde.

Aumentar la durabilidad de las superficies en función de las solicitudes de servicio (fricción, por ejemplo):

- Adaptando las técnicas de tratamiento, DLC y nitruración basado en el uso de la textura de la superficie y el biomimétismo.
- Reconvertir productos, dándoles una función diferente y por lo tanto abierto a nuevos mercados.

MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS INTELIGENTES

Las máquinas y las herramientas, integrando componentes y subsistemas Inteligentes, incluye el equipo de producción capaz de integrar informaciones y utilizarlas para cumplir una función determinada. La complejidad de información y de las necesidades tratadas describe el grado de inteligencia del equipo. Entre las funciones que se expresan de manera tan específica son repatriadas como la adaptación rápida al cambio de producción, la capacidad de lograr varias operaciones, la comunicación entre los equipos, optimizando el ciclo de vida de los equipos, la optimización del mantenimiento, la optimización de la interfaz de usuario, la optimización del consumo de energía y materiales, bucles de autoajuste (autocorrección de los parámetros del proceso. Por ejemplo: acoplamiento, velocidades de corte...). Estos dispositivos incorporan aspectos mecánicos, electrónicos e informáticos (mecatrónica).

Las familias incluyen:

- Robots industriales y máquinas autoadaptables,
- Los robots colaborativos (cobots)
- Máquina-herramientas multifuncionales
- Equipos dirigidos por control remoto,
- Los equipos de fabricación aditiva (incluyendo la máquina de prototipo, impresoras 3D rápido).

La interfaz hombre / máquina juega un papel muy importante. Su objetivo es aumentar la superficie de intercambio entre el equipo y las partes interesadas

19. Industria.indd 436 12/17/19 16:44

para mejorar la eficiencia, la competitividad Hombre + Máquina. Así que esto significa medios y herramientas (hardware y software) permitiendo a una persona de control y comunicarse con el equipo, máquina y línea de producción.

Estos recursos y herramientas proporcionan:

- Control del equipo por el operador,
- Recuperación de datos en el equipo y su entorno,
- Análisis y procesamiento de criterios múltiples de estos datos,
- Grabación de eventos y datas más,
- La transmisión de los resultados a las distintas partes interesadas. Esta transmisión debe ser personalizada a cada tipología según el caso: la información correcta a la persona adecuada en tiempo y en la forma correcta,
- La prestación de otro tipo de información, tales como: documentos, modos operativos, etc.

Estas herramientas ayudan a desplegar el "*hombre aumentado*", es decir, el hombre dotado a través de estas interfaces, de toda la información que necesita: planos, escalas, instrucciones, datos técnicos, formación, historia, etc. pero también, y sobre todo los servicios en línea que puedan necesitar, como el mantenimiento, ayuda a la calidad, compras, servicios generales, etc. El resultado es que este hombre aumentado ", pueda ser despenalizado y sea un verdadero empresario interno, con nuevas relaciones al trabajo.

LOS ROBOTS COLABORATIVOS

El robot colaborativo es un robot diseñado para trabajar en un área común con el operador de la producción; que incorpora las funciones de seguridad necesarias para la interacción directa con un humano en un espacio de trabajo conjunto de cooperación. Los robots colaborativos integran capacidades eficaces de interacción en forma segura con los seres humanos y procesos; pueden ser auto adaptativos, es decir capaz de sacar provecho de las situaciones reales de decisiones razonadas.

Podemos clasificar los tipos de aplicaciones industriales en cinco categorías, como se explica en el siguiente gráfico:

- Isla robótizada "estándar": no hay interacción planificada entre el operador y el robot.
- Isla robótizada solución "flexible" que proporciona soluciones técnicas de seguridad.

19. Industria.indd 437 12/17/19 16:44

- Isla robótizada colaborativa: solución mediante la aplicación de una colaboración entre el operador y el robot, con una interacción que puede ser ad hoc de acuerdo con necesidades o casi permanente.
- Robot móvil: solución de la introducción de la movilidad del robot.
- Cobot (contracción de "robot colaborativo") significa un equipo robot para ayudar a un operador en sus funciones, incluidas lo que permite una multiplicación de esfuerzos y reducir las dificultades generadas por una tarea manual.

LOS NUEVOS MATERIALES

Como parte de la *industria del Futuro*, es esencial tener en cuenta la pareja material / procesos desde el diseño (por ejemplo: polvo de metal Co-Cr para la realización de protesis médicas por proceso de fabricación fusión por láser). Del mismo modo sería ilusorio imaginar procesos avanzados de fabricación y elaboración de modelos sin un conocimiento amplio de los materiales (y en particular los nuevos materiales).

Los nuevos materiales parejas / procesos de *la fábrica del Futuro* deben permitir:

- Mejorar el rendimiento económico de las empresas a través de procesos aumentando la productividad de los talleres y la calidad de las piezas industriadas.
- Tener en cuenta la sociedad y los cambios regulatorios hacia productos más respetuosos con el medio ambiente.

La evolución de los materiales inducirá en:

- Adaptar los métodos convencionales de innovaciones (embutido de alta temperatura en THR)
- Desarrollar nuevos procesos de implementación (fabricación aditiva).

En las evoluciones de los materiales notables se destaca:

PARA LOS METÁLICOS

- Los aceros de alto rendimiento (THR) (especificaciones de peso, seguridad, preservando al mismo tiempo su aplicación más fácil. su resistencia puede alcanzar más de 2000 MPa)
- Las súper aleaciones desarrolladas para aplicaciones de alta temperatura. Ellos tienen una alta resistencia a la corrosión y a la fluencia, condiciones y / o im-

19. Industria.indd 438 12/17/19 16:44

pactos mecánicos extremos. Los conceptos básicos níquel o cobalto, con la adición de renio o rutenio se contemplan para la construcción de nuevos motores de aeronaves a temperatura de combustión más alta o de nuevo motor de automóviles de alta eficiencia energética,
- Aleaciones ligeras con el uso de litio y aluminio en Aeronáutica, aluminios de titanio para los álabes de la turbina, o aleaciones de magnesio para piezas semiestructúrales como elementos de carrocerías o de asientos.

Para los elastómeros: emergen nuevas gomas, ofreciendo propiedades específicas por la incorporación de polímeros y aditivos modificados o mediante un tratamiento especial en la aplicación. Por ejemplo, elastómeros fluoruros están bajo investigación y pueden trabajar hasta 315 ° C

Para Compuesto: el desafío en el contexto de la planta del futuro será incorporar masivamente en los mercados de gran volumen y probablemente a tasas elevadas. Para ello, tendrá que:

- Reducir el tiempo de ciclo de industrialización (uso de materiales compuestos de matriz termoplástica, por ejemplo),
- Desarrollar métodos de "alto rendimiento" (procesos de auto drapeado automático, pultrusión, proceso vías líquidas (RTM), filiforme bobinado silencio, la colocación de fibras o astillas asambleas
- Reducir los costos (procesos "net Shape" de reducción de la pérdida "materiales" y chatarra, métodos de hibridación para la función de las partes al máximo)
- aralelamente a los desarrollos de los materiales compuestos de matriz orgánica, se están desarrollando materiales compuestos de matriz cerámica requerido para alta temperatura y a la abrasión.

Nano materiales: Materiales nano estructurados / nano aditivos para aumentar el rendimiento.

XII. PRINCIPALES DESAFÍOS DE ORGANIZACIÓN

En el contexto de la globalización y la especialización industrial de las economías, el desarrollo de la empresa está ahora basado en una estrategia importante:

- Desarrollar actividades de alto valor añadido,
- Apuesta por la creatividad, la calidad y capacidad de respuesta,
- Elevar la gama.

19. Industria.indd 439 12/17/19 16:44

Para ello, es necesario trabajar en los aspectos de organización de la empresa y la cadena de suministro, así como en la gestión de recursos humanos en el contexto del diálogo social reinventado.

La calidad total y la excelencia operativa y la calidad en el corazón del proceso. Las normas internacionales de calidad se han movido hacia la calidad total (GCT: Total Quality

Management; EN ISO 9004: Gestión del Rendimiento Organización sostenible - la calidad enfoque de gestión), que articula estrategia, el rendimiento del sistema, dimensión humana y social.

Como parte de la Calidad Total, las partes interesadas son:

- Los Clientes,
- Los Proveedores,
- Los Accionistas,
- Los Empleados,
- La sociedad en general.

La calidad óptima está en el punto de encuentro de las necesidades explícitas o implícitas de todas las partes interesadas.

Una nueva organización de la producción debe emerger: flexible, fácilmente reconfigurable y adaptable para responder en menos tiempo a los transportes marítimos de países lejanos. El tiempo y la calidad de realización de una producción personalizada deben ser argumentos frente a la producción en masa. Medios de flexibilidad de la producción deberán ir acompañados de una agilidad de organizaciones, trabajando bajo operadores más versátiles, poli-competentes y favorecer la aparición y el desarrollo de procesos de cooperación y de innovación.

La excelencia operativa, enfoque sistemático y metódico aplica en la empresa, es la mejora continua de los procesos de producción, tanto en términos de productividad y calidad de los productos que la reducción los costos de cualquier tipo. Este enfoque utiliza una amplia variedad de conceptos, métodos, técnicas y herramientas, incluyendo: 6 Sigma, FMEA, Kaizen, Kanban, lean management, etc. La excelencia operativa, centrándose en la satisfacción del cliente final, promueve la sostenibilidad de las actividades.

Más allá de la empresa como tal, el despliegue de las nuevas tecnologías digitales debe acelerar, facilitar, cambiar la conexión de diferentes actores de la cadena de valor. Las viejas relaciones clientes / proveedores, dictatorial, debe dar paso a la empresa extendida en un modelo de ganar / ganar. Estas nuevas relaciones comerciales internacionales, líder y socios, unidos en torno a un mismo proyecto con los mismos valores, deben permitir la puesta en común y compartir:

19. Industria.indd 440 12/17/19 16:44

- Saberes, conocimientos
- Competencias
- Experiencias

Equipamientos industriales en la "industrialización a su Servicio" en áreas de la eficiencia, la competitividad, la aceleración del crecimiento de cada socio: fuertes mejor juntos que separados. Estas asociaciones pueden ser locales, internacionales, con los centros de tecnología o universidades, con cualquier socio, lo que permite acelerar y ser mejor.

LAS HERRAMIENTAS DE EXCELENCIA OPERATIVA

- Las 5S (primeras letras de cinco palabras japonesas: Seiri (clasificar), Seiton (la tienda) Seiso (limpieza), SEIKETSU (Estandarizar) Shitsuke (respetar) tienen como objetivos eliminar las causas de muchos pequeños problemas, fuentes de pérdida de eficacia. Este es uno de los primeros métodos a ser implementado en un enfoque de lean management. También tiene como objetivo cambiar la mentalidad de los operadores.
- El VSM (Value Stream Mapping), el análisis de la cadena de valor, de los flujos físicos y de los tiempos de flujo de la producción (desde las entradas de las materias primas hasta el envío de los productos acabados empaquetados) permite definir los temas y acciones prioritarias de un plan de implementación lean management (también llamada hoja de ruta).
- El lean management es un sistema de organización del trabajo que busca recurrir a todos los interesados para eliminar los residuos que reducen la eficiencia y el rendimiento de una empresa, una unidad de Producción o departamento. Para ello, el lean management establece un objetivo erradicar tres "demonios" de la organización del trabajo: todo lo que no es valor, la sobrecarga de trabajo causada por procesos inadecuados, variabilidad o irregularidad.
- El lean management se ataca particularmente a la sobreproducción, a las expectativas, alteraciones/ correcciones a los procesos mal adaptados, Transporte / ruptura de flujos, a los movimientos innecesarias y los almacenes. Para obtener resultados duraderos, el lean management se basa en mejorar continúa, con una fuerte implicación de todo el personal pertinente por proceso a optimizar.
- La gestión visual basada en la transparencia de los resultados en tiempo real, para tratar de mejorar la capacidad de respuesta a los problemas. Cada zona o servicio debe tener sus propios indicadores. Las desviaciones significativas respecto a los objetivos deberían conducir a un análisis y un plan de acción correctiva.

19. Industria.indd 441 12/17/19 16:44

- El SMED (Single Minute cambio de troquel) es un método de análisis y de reducción de cambio de la producción (o serie) que tiene como objetivo principalmente reducir el tamaño de los lotes para disminuir el valor inventario (terminados y productos intermedios).
- El mantenimiento productivo total (TPM o Mantenimiento Productivo Total) es un método basado en la observación de campo y resolución fallas que afectan a una instalación, con la participación de los operadores. Se utilizan dos indicadores en este método: el MTBF (Mean Time Entre Fallas o el tiempo medio entre fallas) y el tiempo medio de reparación (Mean Time Tiempo de reparación o de medios de reparación). En caso de éxito del método, esto debería resultar en un aumento de llamadas / OEE (tasa de rendimiento Sintético / efectividad del equipo global), que es el principal indicador del lean management.

INVENTAR NUEVOS DISPOSITIVOS DE COLABORACIÓN

La colaboración está en el corazón de la innovación, para los productos y procesos de mañana. Se trata de redes sociales adaptadas a los problemas técnicos, permitiendo el intercambio de información, la gestión y priorización de ideas, la gestión de las controversias técnicas, la gestión de los proyectos y de programas, la gestión de las carteras de productos, etc.

Este tipo de colaboración puede ser desplegado dentro de la empresa y al exterior, para la innovación "afuera hacia adentro". De particular importancia es la Innovación con el cliente, lo que permite retener desde las primeras etapas del ciclo de vida del producto. Esta colaboración tanto en el diseño (de productos y procesos) que en la ejecución. La colaboración permite el diseño para definir los productos o en proceso de fabricación funcionalmente innovadores, por lo tanto ganador en el mercado. La ejecución optimiza en forma permanente las condiciones de producción y de la calidad con un impacto directo en indicadores de productividad y de costo.

La *Industria del Futuro* tendrá en cuenta los cambios en las relaciones al trabajo presentados por estas prácticas de colaboración, incluyendo las nuevas posibilidades de organización del trabajo para la colaboración a distancia.

Otra forma de pensar es la movilidad, en especial la de los modos de producción, debe llevarse a cabo: a la movilidad en general (producto, el hombre-competencias, producción, organización), en un fuerte punto de apoyo con el territorio de origen, que también organiza el registro en la globalización. Esta nueva movilidad fomentará la comunicación dentro de los equipos de sitios y canales de diversos socios.

19. Industria.indd 442 12/17/19 16:44

LA FLEXIBILIDAD DE LA ORGANIZACIÓN

La *industria del Futuro* será inteligente, tener patrones de producción flexibles, herramientas de producción reconfigurables y recursos humanos competencias apropiadas. *La industria del futuro* alimenta procesos ágiles flexibles para producir objetos de la económica y competitiva. Con esta necesaria flexibilidad, sino también con la creciente complejidad de los productos, máquinas futuro será cada vez interactuar y cooperar con el operador. Será necesario para desarrollar nuevas competencias profesionales. En un sistema de producción basado en tecnologías avanzadas, los recursos humanos deben renovarse constantemente para que las competencias puedan adaptarse rápidamente a la evolución tecnológica.

En los años por venir, por lo tanto, parece necesario identificar mejor los recursos que se moviliza en la organización del trabajo y la capacitación para desarrollar competencias.

Un sistema de gestión de la calidad a centrarse en el valor agregado del personal. El sistema de gestión de calidad de la fábrica del futuro se construirá alrededor de la dinámica del proceso y el desarrollo de la responsabilidad de sus equipos. La autonomía y la facilidad de la toma de decisiones no se ejercen en un contexto claro, enfocado en los procesos de gestión con un Valor Agregado de los ingenieros, técnicos y operarios, motivadores y que cultivan el espíritu de compromiso al servicio de la eficiencia. La fluidez del control del rendimiento será favorecida a través del uso de herramientas digitales en la *industria del Futuro*, como las redes sociales, herramientas para compartir información, web, móviles y la realidad aumentada.

La nueva versión de la norma ISO 9001 preconiza de unir el sistema de calidad a la comprensión de las necesidades y esperanzas de las partes interesadas. En este sentido, se promueve la inclusión del ecosistema de la planta en el proceso de desarrollo. Además, se pregunta aplicar a cada nivel, en los análisis de riesgos y el nivel de la empresa oportunidades de mejora que le darán un papel más importante para el hombre la planta.

XIII. DESAFÍOS MAYORES DESDE EL PUNTO DE VISTA MEDIO AMBIENTAL

En un contexto global de las tensiones sobre los suministros materias primas, la transición energética y la lucha contra el cambio climático, la fábrica reduce al mínimo su impacto ambiental y los de sus productos.

La Reducción de los residuos y contaminaciones, la eficiencia energética, el uso eficiente de los recursos y la implementación sostenible en el territorio son los principales desafíos ambientales.

19. Industria.indd 443 12/17/19 16:44

Los recursos no renovables y de bajas emisiones de carbono, las plantas implementan procesos de producción con un alto rendimiento energético y medioambiental. Es parte deun enfoque de ecología industrial y territorial (el agrupamiento de flujos y recursos entre empresas cercanas). Integrada en una construcción de alta calidad energética y ambiental, utiliza una proporción creciente de energías renovables.

En el desarrollo de sus productos, integra la gestión ambiental en todas las etapas de su ciclo de vida. En particular, se implementa los principios de la economía circular que tienen como objetivo "reducir, reutilizar, reciclar"; sus productos son de diseño ecológico, fácilmente reciclable y su ciclo de vida es aumentado (refabricación, reequipamiento). Asocia a sus productos la oferta de servicios bajo la economía funcional con el fin de mantener el control de todo el ciclo de vida del producto. Se reduce su huella de carbono, en particular en relación con sus actividades de logística y los viajes profesionales de sus empleados. Todas estas acciones deberían tener un impacto positivo en el rendimiento económico en general.

INTEGRAR LA PLANTA EN SU ECOSISTEMA LOCAL

El principal desafío será demostrar que la planta, económicamente competitiva, se puede integrar en los ecosistemas urbanos (cerca de los lugares de vida) o rural. El objetivo será el desarrollo de soluciones técnicas para reducir el ruido, las emisiones al aire y al agua y acudir a tecnología producción limpia. Además, los edificios de alta calidad energética y Del medio ambiente, tienen una arquitectura integrada al paisaje local.

Más allá del reto puramente técnico, un segundo es la integración organizacional y relacional de la planta en su ecosistema en torno a: entrada y de salida de la planta ("Logística último kilómetro "con vehículos limpios).

- La integración en el sistema urbano y a la red de transporte para el personal y visitantes (integración en los barrios sostenibles, la logística de evacuación y tratamiento de residuos).

DISEÑAR Y PRODUCIR DOMINANDO LOS INGRESOS DE MATERIALES

Los principales desafíos relacionados a los flujos de materiales que entran en el sistema de producción:

19. Industria.indd 444 12/17/19 16:44

- La realización de la función solicitada en el producto con una mayor precisión al tiempo que garantiza la seguridad y la performance. El material es entonces salvado por un mejor control del coeficiente de ignorancia (o de seguridad).
- Aplicación de los métodos de transformación permitiendo de economizar directamente, la materia y la energía para hacer productos para cada rendimiento comparable a los obtenidos por los procesos convencionales, con costos de industrialización similares.

Ambos enfoques de diseño de producto y diseño de procesos de fábrica se llevan a cabo de forma conjunta.

Por lo tanto, los objetivos incluyen:

- Los métodos de diseño y especialmente el cambio de los métodos de diseño deterministas (todo se hace para que no haya jamás ruptura) por métodos de confiabilidad que tengan en cuenta la variabilidad en los materiales, de los procesos de fabricación y de los usos, con un enfoque de dominio de riesgos.
- Procesos de fabricación, reduciendo el consumo de materiales, como fabricación aditiva. El acoplamiento entre la planificación de producción y los términos de anticipación de la adquisición de materias primas para optimizar la gestión de compras, plazos e inventarios.

La reducción en el consumo de materiales, energía, agua, etc. pasa también por una reducción en los residuos y, por tanto, un mejor control de proceso de fabricación. Esto implica tener sensores y sistemas de seguimiento de los procesos de fabricación a:

- Dominar las fases transitorias de crecimiento y parada de producción,
- Detectar cualquier deriva de parámetros del proceso,
- Detectar la identificación temprana de las partes que tienen defectos ,
- Implementar el mantenimiento predictivo basado en la medición.

Esto es tener modelos confiables y adaptados a las necesidades empresariales para evaluar rápidamente la relevancia económica, técnica y ambiental de las soluciones previstas en términos de diseño y de fabricación para asegurar la competitividad de la empresa.

EL DISEÑO ECOLÓGICO, EL RECICLAJE

El ecodiseño es la integración de las cuestiones medioambientales en la fase de diseño de sistemas (que sean productos, servicios o procesos industriales) a fin

19. Industria.indd 445 12/17/19 16:44

de reducir el impacto medioambiental. Si tomamos como ejemplo un producto, el primer paso es evaluar la huella ambiental del producto actual antes de ejecutar alternativas de mejora. Esta evaluación toma en cuenta todas las etapas del ciclo la vida del producto: desde la extracción del material pasando por su fase de utilización hasta el fin de su vida. Hablamos de visión de la "cuna a la tumba" o de la "Cuna a la cuna".

Otro desafío del diseño ecológico es diseñar productos que promoverá la reutilización, el reciclado, utilizando en el desarrollo de la integración de los materiales de reciclaje.

Sobre todo, se trata de diseñar e industriar productos que serán desmontados fácilmente para:

- Facilitar la evaluación de los conjuntos y de las piezas después de su eliminación y pudieran encontrar el estado de producto después de ser analizado, valorado y posiblemente reparado y que vuelva a calificar para su reutilización en un perímetro definido,
- Facilitar el desmontaje y el desmantelamiento de los productos para facilitar su vía de tratamiento para reciclaje.

Esto implica:

- La evaluación de las características del material, la identificación de defectos y la evaluación de los daños consiguientes,
- El diseño de piezas o subconjuntos reciclado y vuelva a calificar después de cualquier reparación,
- El desmontaje de los productos, limpieza, su desinfección y su descontaminación.

La última cuestión es imperativa y consiste en elaborar materiales con ingresos del reciclaje.

Para ello será necesario:

- Caracterizar y acceder a sus leyes de comportamiento,
- Desarrollar los procedimientos para su aplicación, en condiciones económicamente favorables y condiciones jurídicamente estabilizados.

La identificación de los sectores de reciclado pertinentes, eventualmente las acciones para contribuir al desarrollo de nuevos sectores, asegurará la conexión con la economía circular en una visión de los ecosistemas locales. La Mecánica, como proveedor de bienes de equipamiento para otros sectores industriales, también tendrá que diseñar e industrializar maquinaria para realizar y automatizar

19. Industria.indd 446 12/17/19 16:44

el desmontaje de productos, clasificación de residuos, su preparación para la reutilización, la aplicación de los materiales que contienen ingresos de reciclaje.

LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y LA REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO

El principal reto es reducir el consumo de energía y las emisiones de CO2 y los costos asociados. Para ello, podemos desarrollar, validar y poner en práctica enfoques para el control de la energía integrando la planta como sistema de energía del ecosistema interconectado. La planta es proveedor eficiente de energía, de consumo y trabaja en red en su ecosistema (zona industrial, aglomeración, etc.) en una óptica de la ecología territorial. También optimizará el sistema de producción interna. Los procesos consumidores y proveedores de Energía, parte de la planta, se organiza para optimizar la gestión de la energía actuando sobre máquinas y procesos, partes de las sistemas de la producción.

Estas son las herramientas y métodos:

- La interconexión inteligente de la planta en su ecosistema energía en integración con las redes inteligentes y las herramientas de gestión de energía del sitio,
- El almacenamiento de la energía producida por la planta, para reducir el consumo de energía comprada,
- La gestión de las fuentes de energía múltiples internas o externas de características diferentes (solar, eólica, recuperada en el sistema de producción) y la garantía de la calidad de la energía entrante en el sistema de producción
- La Optimización de los procesos para reducir su consumo energético por el uso de equipos funcionando con múltiples fuentes de energía y la racionalización de los procesos para optimizar energéticamente.
- La optimización de los procesos industriales y de los servicios públicos (aire comprimido, vapor) para limitar su consumo de energía por la evolución tecnología en las operaciones o funciones básicas (mejor el calor o mejor fresco, reducir la fricción, la lubricación con mayor eficacia, etc.)
- La optimización del consumo de energía de la planta teniendo en cuenta las necesidades de los operadores (iluminación, ventilación, aire acondicionado, etc.).

Más específicamente para la reducción de las emisiones de carbono, conviene anotar que todas las acciones anteriores para reducir la huella ambiental participan a la reducción de la huella de carbono de las actividades industriales en general (fabricación, diseño de productos, etc.).

19. Industria.indd 447 12/17/19 16:44

En particular, las empresas, a través de sus conocimientos de su situación propia (resaltado mediante el establecimiento de GEI u otros informes), para actuar:

- Fomentar la compra de materiales del proceso de reciclaje, con una colaboración estrecha de cooperación con sus proveedores,
- Optimizar y gestionar con más precisión su consumo de energía, por ejemplo, una eficiencia continúa mejora de la eficiencia energética de sus procesos mediante la aplicación de los planes de conteo y la concientización de los empleados,
- Proveerse localmente de materiales y productos semi-acabados
- Reducir la huella del transporte, incluida los viajes de la plantilla de la compañía o entre empresas (medios de locomoción acción ordinaria, el fomento del uso del transporte público o uso compartido del coche).

XIV. GRANDES RETOS A NIVEL SOCIAL

Los impactos de la actividad empresarial, en particular de la industria, en la sociedad se hicieron más actuales. Afectan no sólo el campo de la actividad de estas empresas, la producción de bienes y servicios, sino que también generan muchos efectos inducidos (externalidades) manifestada en múltiples áreas como el funcionamiento de la economía, la salud, el medio ambiente, la solidaridad, etc. El desarrollo de la responsabilidad social corporativa no es ni la expresión de deseos, ni una obligación, sino más bien la mutación de un sistema técnico y económico sustentado por valores y derechos. La planta debe conciliarse con la empresa y encajar armoniosamente en su ecosistema cercano. Debe reducir su contaminación para permitir su ubicación más cerca del corazón de las ciudades y limitar las necesidades de transporte de los empleados.

Se necesitarán nuevas competencias. Nuevos oficios emergentes. Como el responsable de los datos digitales, ingeniero de seguridad cibernética, robótica, mecatrónica, responsable e-CRM, ingeniero virtualización, la cadena de suministro responsable, responsable GPEC y talentos (gestión Pronóstico de puestos de trabajo y competencias).

En un sistema de producción basado en tecnologías avanzadas, los recursos humanos deben formar continuamente para que las competencias puedan adaptarse rápidamente a los desarrollos tecnológicos. El hombre necesitará para adaptarse, para ser eficaz en este nuevo contexto. Por lo tanto, es esencial identificar los recursos a movilizar en la organización del trabajo y la capacitación para desarrollarlo de competencias. Del mismo modo, la capitalización de las competencias, la asistencia a los trabajadores de edad, implementación de pro-

19. Industria.indd 448 12/17/19 16:44

cesos de colaborativos, intuitivos y potentes, el e-learning intuitivo, el auto entrenamiento es esenciales para disponer de los recursos humano necesario.

Por último, es esencial mejorar la imagen de la empresa, dando la visión atractiva para las nuevas generaciones de la *Industria del Futuro*. El destino de sistemas industriales y sistemas de producción, que son estos últimos años, sinónimos de pérdidas de empleos y cierres de fábricas, se convierte en un tema de desarrollo de las empresas. Una de las principales ambiciones políticas del plan "*industria del Futuro"* será de mantener y desarrollar una fuerte actividad industrial, innovadora, de exportación, la creación de riqueza y la creación de empleos.

La industria del futuro se construye alrededor del hombre y su saber hacer. Favorece el bienestar de los empleados, los cambios en las competencias y la cooperación en el proyecto de empresa. Debe atraer talento y capitalizar los conocimientos técnicos necesarios para su desarrollo, y hacer crecer "El capital humano". Su organización permite cultivar la eficiencia y la creatividad de sus empleados, que también se les anima a desarrollar su continua en talentos y competencias. Sus implicaciones y las contribuciones a la toma de decisiones sean motivadas. Quitar ciertas tareas (más informaciones en el proceso del tratado por las máquinas) ofrece la oportunidad que los empleados utilicen mejor sus inteligencias individuales y colectivas para hacer frente a la naturaleza estratégica de la información. Esto implica en corolario una evolución de los modos de relación con los otros: aceptación de la incertidumbre, la tolerancia y la bondad a nuevas ideas.

Recursos humanos adaptados a los nuevos retos y a la ampliación de la ocupación profesional, formación durante toda la vida (e-learning), la capitalización de los conocimientos y la transmisión de las competencias, autonomía de los operadores, conocimiento de idiomas extranjeros, la participación en el desarrollo de la empresa son todos los temas en el corazón del enfoque. Con una necesaria flexibilidad, sino también con el crecimiento de la complejidad de los productos y los servicios relacionados, las máquinas del futuro deberán cada vez interactuar y cooperar con el operador. Los robots serán de colaboración (trabajando conjunto y sin barreras físicas entre el hombre y el robot, interfaces intuitivas) incluso entrar en la desmultiplicación de la fuerza humana como es el caso con la cobotica y exoesqueletos.

El tema de *la industria del futuro* es proporcionar un modelo en el que actúa el operador y toma iniciativas en una línea de producción robotizada, un poco como un videojuego. El objeto mecánico se convierte al nivel de la cadena se extiende desde el diseño hasta la distribución, pasando por la fabricación, un objeto ajustable que el operador manipula para satisfacer una demanda de los clientes evolutivo y cambiante, que es capaz de simular su elección en un modelo virtual. Esto induce cuestionamientos, de destrucciones de empleos para crear otras,

19. Industria.indd 449 12/17/19 16:44

más calificadas para inventar de nuevas oficios y rima ingeniosidad con flexibilidad. Este también implica una importante revisión de las regulaciones sobre la seguridad en el trabajo.

El hombre en el corazón de la *Industria del Futuro* acompaña la evolución de la demanda al cliente, lo que implica una especial atención a la formación inicial, sino también la formación durante la vida laboral. Los productos y procesos cambiaran regularmente y cada vez más rápidamente, de ahí la necesidad de reactividad de la capacidad de respuesta y de la formación continua.

DESARROLLAR LA RESPONSABILIDAD SOCIAL EMPRESARIAL (RSE)

La RSE es una dimensión esencial de la gestión de la empresa y representa una palanca de competitividad para las empresas. La *Industria del Futuro* integra los principios generales de la norma ISO 26000 (rendición de cuentas, la transparencia, el comportamiento, la ética, el reconocimiento de los intereses de los participantes, el respeto el estado de derecho, teniendo en cuenta las normas internacionales de comportamiento, respeto de los derechos humanos).

Un enfoque de servicio al RSE- la estrategia y la eficacia de la Pyme ofrecerá un enfoque basado en la mejora continua, a través de un proyecto empresarial que tiene como objetivo reforzar la competitividad y anticipar la evolución del mercado. *La industria del futuro* se construye en este enfoque global del progreso de las organizaciones.

LA INDUSTRIA EN LA CIUDAD

Más integrada, más conectada, económicamente competitiva, en el corazón de territorios, pero abierta al mundo, cerca de los jugadores en el ecosistema, la *Industria del Futuro* contribuirá a la revitalización de su red y de la economía local. Los criterios de inclusión para la aceptabilidad por parte de la ciudadanía, la implementación o el mantenimiento de una planta cerca de sus hogares, es esencial para limitar el movimiento de personas y reducir el impacto ambiental, para limitar las necesidades de redes de transporte y la inversión pública.

Las nuevas soluciones técnicas para reducir el ruido de las actividades tanto en la producción industrial, la manipulación que los flujos de logística (vehículos limpios), el control de la liberación y el uso de la tecnología de producción limpia y segura, con lo que tendrá en cuenta fábricas cerca de las zonas habitacionales, al menos para una parte de ellos.

Arquitecturas de construcción favoreciendo la integración en el paisaje urbano se insertará (diseño arquitectónico, planta compacta y de bajo impacto visual). Fábrica en armonía en su ecosistema de proximidad.

19. Industria.indd 450 12/17/19 16:44

La alianza industria del futuro. Una revolución humana*

SUMARIO

I. Introducción II Transformar empresas e individuos por y para la industria del futuro. III. Los desafíos de gobernanza y de gestión IV. Otros retos V. formación y acompañamiento de los asalariados y futuros empleados VI. Resumen y recomendaciones

"En una sociedad del conocimiento, la competencia es una inversión social importante para hacer crecer los empleados y las empresas.

Las empresas, especialmente las Pymes, tienen desafíos que afrontar que son en parte consecuencia de la digitalización de la economía y de la sociedad: modificación de los modelos de negocio y de las relaciones con los clientes, un rediseño de las organizaciones, una necesidad de cambio rápido de las competencias, el acceso a nuevas tecnologías y mejora de la competitividad.

El tema digital y el empleo deben convertirse en un tema político, para ir más allá en el análisis y ver qué dirección tomar. En una reflexión de fondo, pragmática y compartida, se debe involucrar a todos los actores de la Industria, de la sociedad civil y del Estado llamando al público en general, los líderes empresariales, los empleados, el mundo académico, los jóvenes, los actores del empleo y de la formación a través de una resolución participativa para tomar el carácter fundamentalmente social de estos temas. En un diálogo y propuestas concretas sobre empleo, competencias y organización del trabajo en la industria del futuro.

Este documento presenta estas primeras propuestas colectivas que son la piedra angular para la **construcción de un nuevo diálogo nacional y especialmente para la realización de nuestra ambición común: hacer de la industria,**

* La presente investigación auspiciada por el Gobierno francés, se incluye en este libro bajo la autorización del Señor Alfred Rodríguez, Embajador en México de la Alliance Industrie du Futur y Presidente de la comisión de innovación y tecnología para la competitividad, Confederación de Cámaras Industriales de los Estados Unidos Mexicanos (CONCAMIN).

20. Alianza.indd 451 12/17/19 16:44

una fuente de riqueza nacional para el crecimiento económico y el desarrollo de sus empleados.

Este trabajo se basó en gran medida en las intervenciones de los actores siguientes: industriales, asalariados, institucionales, académicos, investigadores, pero también los jóvenes.

I. INTRODUCCIÓN

La industria del futuro, un objeto social

Una amplia consulta. Trabajo realizado sobre el tema **"El hombre en el corazón de la industria del futuro"**

Con tres talleres

– organización y gestión en la industria del futuro;
– acompañamiento de empleados y futuros empleados;
– Papel de las autoridades e institucionales en el acompañamiento de esta transformación

Cada uno compuesto por unos diez miembros de todos los ámbitos de la vida (organizaciones sindicales y profesionales, empresas - Pymes y grandes empresas - industriales y de servicios, académicas y de investigación, administración central o desconcentrada...).

A estas reflexiones lideradas por expertos se sumó una aportación, un **desafío de "jóvenes"** (estudiantes) que permitió a los equipos juveniles de proponer sus soluciones y aportar su visión de la industria del futuro.

Este trabajo y las múltiples y multifacéticas contribuciones se debatieron (a través de #**Agora Industria en Twitter**) en un foro, 12 de diciembre de 2017, en forma de quince propuestas o pistas para profundizar. Sus líneas principales fueron las siguientes.

Una observación compartida. **Los miembros de los talleres comparten un diagnóstico común de transformaciones inducidas digitalmente** y la necesidad de proporcionar respuestas sin demora para mejorar el sistema productivo: la aceleración del ritmo del cambio está presionando para cambiar la organización de la empresa, para enriquecer las competencias de los empleados, para trabajar con mayor transversalidad tanto en la empresa como en su ecosistema. La creación de las condiciones del "diálogo del futuro" es la piedra angular para fortalecer los vínculos entre los actores y facilitar la implementación de los cambios cuya visión general y desafíos quedan por compartirse para llenar el déficit de información.

20. Alianza.indd 452 12/17/19 16:44

Mutaciones esenciales en todas las escalas. La transformación del paisaje productivo comenzó y se va a acelerar en la próxima década. En este corto período de tiempo, una docena de rupturas tecnológicas y científicas convergerán: el Internet de las Cosas (IOT), la nube, la automatización de los oficios del conocimiento (inteligencia artificial), robótica avanzada, nuevas energías y almacenamiento de energía, plataformas digitales, genética de nueva generación... Remodelarán en profundidad productos, servicios, trabajos, etc. a escala mundial. Las barajas competitivas serán diferentes, mientras que las fronteras entre sectores, pero también entre productos y servicios, tenderá a disolverse en favor del "Uso", que alimentará las tensiones en torno al intercambio de valor con la llegada de nuevos jugadores y factores que estarán sacudiendo el marco regulatorio e histórico con su organización innovadora (ecosistema de plataformas).

Los actores "históricos / tradicionales" tienen que revisar la organización del trabajo y el flujo de información con la llegada de procesos mecanizados e integrarlos en su razonamiento estratégico de modelos de negocio basados en datos y relaciones con el cliente.

La industria del futuro como vector de transformación del modelo social. La era industrial desarrollo el trabajo, desde la formación inicial, la situación laboral hasta las relaciones sociales, así como el financiamiento y la gestión del modelo social. El digital está sacudiendo este marco y la organización de las empresas, los oficios y empleos desde mediados del siglo XX (salarios, estatus, clasificaciones, competencias ...): la aceleración del tiempo requiere reducir niveles jerárquicos, redefinir el rol de la gerencia y cuestionar las competencias requeridas (técnica, económico, relacional, tecnológico, humano). La sociedad a la que vamos, por lo tanto, basado en la competencia y la resiliencia. Para afrontar estos retos, las organizaciones deben volverse ágiles y aprender, y alentar las experimentaciones.

La responsabilidad social de la empresa evoluciona. La "Transparencia" es una de las características de nuestra sociedad "hiper industrial". Tratándose de la gobernanza de la empresa, tiene que evolucionar, "extenderse" hacia el ecosistema empresarial en resonancia con un mundo colaborativo. De antemano, la construcción de vínculos más estrechos y fortaleciendo la relación de confianza dentro de la empresa, pasa por un diálogo social renovado, especialmente en la gestión del cambio (con un objetivo de mayor agilidad). Esta confianza también pasa en tomar en cuenta la demanda de los empleados con su empleador que se transforma en una "garantía de competencias laborales". Tanto la gestión de la carrera y la formación de los empleados que la mejora de la empleabilidad de los asalariados forma parte de esta expectativa. Al mismo tiempo, la "guerra de talentos" invita a las empresas en hacer todo lo posible para mantener y desarrollar competencias de sus empleados, mantenerlos y atraer nuevos talentos (las dificultades de contratación encontradas por la industria testifican lo critico de

20. Alianza.indd 453 12/17/19 16:44

este punto). Por último, la gerencia debe evolucionar: en gestionar una organización de trabajo en permanente evolución, destacando competencias individuales y colectivas para acelerar la integración de nuevas tecnologías y contribuyendo al desempeño en el tiempo, requiere no solo revisar el rol de la gerencia sino también su alcance con más autonomía de los equipos.

La responsabilidad individual de los empleados evoluciona. La cuestión de mantener su empleabilidad también debe aplicarse al asalariado. En este punto, ni los empleados ni las empresas son iguales, algunos empleados se organizan, otros necesitan ser sensibilizados - luego acompañados - a la necesidad de entrenarse continuamente a lo largo de su vida profesional para desarrollar sus competencias. Donde la gran empresa tiene experiencia interna, la Pyme recurrirá a su sector profesional, que proporciona una solución que no siempre integra la transversalidad necesaria en su respuesta. Se trata para los empleados, como primer paso, de entender completamente el ecosistema de la empresa y su evolución, luego, en un segundo paso, para acceder a una oferta formativa adaptada dentro y fuera de la empresa.

En relación con su estado, la empresa "industrial del futuro" debe anticipar la gestión de sus competencias. La anticipación se vuelve cada vez más difícil en nuestro entorno, pero es esencial: se debe juntar los actores de un estado (empresas, comunidades, académicos...) que la sostienen para compartir información, consolidarla y luego gestionar mejor lo cierto y, sobre todo, lo emergente, **porque ningún actor puede hacerlo solo**. El desarrollo de una plataforma facilita estos intercambios. Además, es necesario converger hacia esta cultura de compartir por divisiones superadas (estado / región, rama / sector, local / nacional, social / económico, educación / negocios ...): el éxito de un plan de acción requiere la reunión y la colaboración de todos los actores públicos y privados. Un diagnóstico cruzado de los temas del empleo y de las competencias de la industria (estado o cuenca de empleo) podría ser el punto de partida. En esta perspectiva, sería apropiado comisionar a uno de los jugadores existentes como líder para agregar, incluso organizar, agrupaciones para la construcción de una cuenca de empleo con el segundo objetivo de constituir una base común de competencias y facilitar la transición de un sector al otro y facilitar la adaptación de la oferta de formación inicial y profesional. La urgencia de los líderes empresariales es disponer de las competencias adecuadas y confiables, para que la empresa tome el giro de la transformación digital y se comprometa en la industria del futuro. Es para la empresa y sus empleados una pregunta de porvenir y de competitividad crucial.

La prioridad es hacer de la Industria del Futuro un proyecto que movilice a los actores económicos y sociales al centrarse en mitigar su lado ansiógeno

20. Alianza.indd 454 12/17/19 16:44

valorizando al mismo tiempo las oportunidades de crecimiento que ofrece para las empresas, sino también mayores competencias y empleabilidad para los asalariados. La visión de la transformación es a menudo reducida a herramientas y medios de producción, es decir, una visión basada en la automatización de estaciones de trabajo, la eliminación de puestos de trabajo ... Ahora, la automatización es también un factor de reducción del trabajo pesado y el digital facilita el acceso a nuevos mercados geográficos (con diferencias de un sector a otro, de una empresa a otro según su tamaño, su sector, sus mercados...).

Este proyecto merece ser compartido entre todos los actores institucionales (organizaciones sucursales descentralizadas, sucursales - Organizaciones profesionales y organizaciones sindicatos - sectores, etc.) para ampliar su perspectiva sobre las transformaciones actuales.

La implementación de un plan piloto debe ser una oportunidad para reunir los medios de fondos públicos (para evitar la dilución debido a la multiplicidad de ventanillas / actores), particularmente en su giro dedicado a la gestión del apoyo y a las reconversiones.

II. TRANSFORMAR EMPRESAS E INDIVIDUOS POR Y PARA LA INDUSTRIA DEL FUTURO

UN MÉTODO DE TRABAJO ORIGINAL, ABIERTO Y COLECTIVO

El primer tema se centra en **la organización y gestión en la industria del Futuro.** Los desarrollos en sus modelos de negocio, organizaciones industriales, tipos de gestión y el papel de los directivos bajo el efecto de las nuevas tecnologías y en primer lugar de lo digital, está en el centro de los desafíos.

El segundo tema, **formación y soporte para asalariados y futuros empleados**, también la cuestión del impacto de las nuevas tecnologías a nivel del individuo. Aborda temas de empleo, nuevos perfiles y formación inicial y profesional resultante de ellos.

El tercer y último tema es transversal comparado con los dos anteriores ya que se interesa por el **papel de los poderes públicos e institucionales de estas transformaciones**. Temas de sensibilización, incentivo, acompañamiento, pero también de territorio, están en primer lugar de los aspectos tratados.

Estas diferentes contribuciones fueron comparadas con intervenciones constantes por los jóvenes o el público en general a través de herramientas de colaboración y de los ciudadanos establecidos (encuesta, plataforma colaborativa, aportaciones vía Twitter). Esta es la razón por la cual estos aspectos se mencionarán a lo largo de los siguientes textos.

20. Alianza.indd 455 12/17/19 16:44

ORGANIZACIÓN Y MANAGEMENT EN LA INDUSTRIA DEL FUTURO

Las contribuciones en torno a este tema invitan a revisar las fronteras de las organizaciones y cómo crear valor dentro de un sector y en un territorio (noción de empresa extendida). Como tal, la gerencia debe reinventarse para desempeñar un papel clave en la transformación digital, es decir, poner al "ser humano en el corazón de la industria del futuro". Además, las propuestas se formulan aquí para inspirar las iniciativas a implementarse.

– Introducción: la transformación digital y sus impactos sobre organizaciones y la gestión

La transformación digital es vista como un medio, no como un fin, para reinventar una organización de trabajo centrada en la gestión de competencias individuales y colectivas. En repensar en un ecosistema y no solo dentro de una empresa.

Lo digital no se percibe en Francia, como un peligro para el empleo (según el 65% de los encuestados) de acuerdo con los resultados de la encuesta realizada para "Ágora Industrie "en 2017. Además, **los efectos de la transición digital en el entorno industrial se captan más positivamente** con un 68% de los encuestados que son incluso una gran mayoría para pensar que la calidad de vida en el trabajo puede mejorar en el contexto de las evoluciones inducidas por la industria del futuro.

En este contexto, el **papel de los directivos, especialmente los gerentes medios, es un factor clave de éxito.** Son los asistentes privilegiados de los asalariados en su apropiación de tecnologías y debe tranquilizarlos sobre su valor y uso. También son el vínculo fuerte en la capacitación de los empleados, particularmente en competencias transversales o competencias blandas (agilidad, design thinking, etc.). Son finalmente esos que ejercen tensiones, restricciones, preocupaciones, resistencia en este marco de transformación rápida y profunda.

El territorio (o cuenca de empleo) se identifica **como La escala relevante** para acompañar este cambio hacia la empresa del futuro. De hecho, los fenómenos de emulación, incluso el mimetismo estratégico entre actores debido a su proximidad geográfica es posible gracias al apoyo de las autoridades públicas en este movimiento de magnitud, gracias a los relevos existentes y reconocidos por los líderes empresariales (redes...) que también pueden considerar reconfigurarse en plataformas colaborativas. Finalmente, esta proximidad entre los actores puede contribuir a cambiar la imagen de la industria para las generaciones más jóvenes y atraer nuevos talentos.

Los trabajos del taller se guiaron por tres preguntas claves:

20. Alianza.indd 456 12/17/19 16:44

– ¿Cómo las nuevas tecnologías (digital, fabricación aditiva...) cambian la estrategia de la empresa, su relación con clientes, socios y competidores?
– ¿Qué impacto tienen las nuevas tecnologías en la organización, el gobierno y el rol de los líderes?
– ¿Cómo acompañar y promover estas mutaciones?

Propuestas: evolucionar las interacciones internas y externas de las empresas

Las propuestas se reparten a lo largo de dos ejes principales, a los que añadiremos algunas reflexiones complementarias. Primer eje, el de los desafíos ligados a los ecosistemas; se trata de adoptar un enfoque sectorial, territorial y métodos de trabajo compartidos a crear para la Industria del Futuro, pero también actuar por el atractivo de la industria. El segundo eje trata de los asuntos de gobernanza y de gestión, con un enfoque particular sobre el papel de los directivos y la importancia de un nuevo tipo de relaciones sociales.

LOS ECOSISTEMAS DE LA INDUSTRIA DEL FUTURO

Se presentaron dos propuestas que vamos a exponer, ilustrar y completar.

ORGANIZAR EN LOS ESTADOS, COMUNIDADES LOCALES DE "INDUSTRIA DEL FUTURO"

Objetivo: crear comunidades de intercambios locales, bajo la coordinación de facilitadores, garantizando a largo plazo una retroalimentación desde el territorio, un benchmark y una materia viva duplicable por el mayor número.

Es necesario coordinar la acción de todos los actores del desarrollo económico regional (regiones, áreas metropolitanas, banco de desarrollo, cámaras, federaciones profesionales, clústeres) para asegurar el despliegue de estas comunidades. Su objetivo es fomentar el intercambio de experiencias entre actores, en particular las Pymes, mediante una emulación positiva gracias a los diversos soportes existentes. Estos podrían ser con plataformas colaborativas lideradas por representantes comunitarios de proximidad. El Gobierno federal garantizará la correcta orientación, la calidad de animación y de dirigir estas comunidades cuyas redes serán fuertemente alentadas.

Pero es igualmente esencial que los experimentos puedan llevarse a cabo bajo una forma y según diferentes maneras por estado. Por ejemplo, se piensa que 2 a 3 experimentos territoriales con nuevas competencias de referencia incluyendo

20. Alianza.indd 457 12/17/19 16:44

los saber – ser (soft skills), pero también a la estructuración de una plataforma para la implementación de necesidad / oferta a tiempo parcial para pymes.

MEJORAR EL ACCESO AL EMPLEO INDUSTRIAL MEDIANTE LA MOVILIZACIÓN DE EMPRESAS

Objetivo: romper los tabúes, comunicarse mejor para hacer más fáciles y atractivas las oportunidades de carrera en la industria, revisar las herramientas para relacionar la oferta / demanda en los estados para simplificar los recorridos.

Alcanzar este objetivo requiere reinventar las herramientas de relación oferta / demanda en los territorios por una fuerte movilización de todos los actores, en primer lugar, Las propias empresas, que están mejor posicionadas para identificar empleos sin respuesta, condenados a desaparecer, en transformación y surgimiento en las Pymes. Se necesitan vínculos más estrechos con los actores de la formación inicial y continua para preparar mejor los empleados de mañana con las competencias que necesitarán. En otras palabras, se trata de considerar a las empresas como actores principales en materia de formación profesional. Por otra parte, las empresas como testigos privilegiados relacionados con lo digital son los mejores embajadores de los nuevos oficios que podrán atraer una fuerza laboral calificada a priori más motivada por el sector industrial. Como se indicó durante la "Industria Ágora el 12 de diciembre 2017", *poner a la empresa en una dinámica de innovación y de formación continua para preparar a los nuevos oficios.*

Se desarrollarán varias iniciativas, como foros de negocios, olimpiadas u otros eventos para acercar el mundo industrial al público en general y desempolvar su imagen. Desde el punto de vista de la formación de actores, las empresas deberían ser más sistemáticamente solicitadas para revisar los programas de capacitación, para acomodar a más jóvenes en alternancia y aprendizaje

III. LOS DESAFÍOS DE GOBERNANZA Y DE GESTIÓN

Al igual que las grandes evoluciones o revoluciones tecnológicas, la que conocemos cuestionan a la empresa, obviamente sobre su modelo de negocio, pero también sobre su organización de los recursos y sus métodos de gestión. Esto va de la mano con un aumento del nivel de educación y medios de información de la población, pero también con un aumento de las cuestiones sociales y medioambientales. Por eso, la cuestión del gobierno corporativo, del papel de los directivos y de los gerentes es un factor determinante del éxito, o del fracaso, incluso hoy más que ayer.

20. Alianza.indd 458 12/17/19 16:44

MEJORAR EL RENDIMIENTO POR LA GESTIÓN COLABORATIVA

Objetivo: Evolucionar la gestión para desarrollar una actitud de escucha y de apoyo de los equipos, transformando la organización para aumentar su autonomía y desarrollar su agilidad.

El mayor reto es apoyar el cambio en las empresas a través de la **gestión colaborativa** para dar más autonomía a los equipos, incluso para llegar tan lejos como sea posible al mismo tiempo que permite que todos se conviertan en actores del desarrollo de sus propias competencias. El líder debe revisar su forma de administrar su empresa y especialmente mostrarse ejemplar en el cambio de asentar su legitimidad frente a sus colaboradores. Es un profundo **cambio de paradigma** que se impone porque según los sindicatos de empleados, muchas personas temen la transformación digital y tecnológica. Por este motivo, los líderes de las pymes deben impulsar este cambio y agruparse en torno a un proyecto empresarial común basado en una visión compartida por todos. Sin embargo, la gestión colaborativa no está decretada, es la cultura de gestión la que se transforma por esta transformación. Eso es toda la paradoja de la transformación digital finalmente es sinónimo de *"aceleración en un tiempo largo".* Lleva tiempo sensibilizar y capacitar a los gerentes y los colaboradores, por lo tanto, es necesario inculcar estos nuevos métodos de gestión lo antes posible favoreciendo el aprendizaje colectivo. Finalmente, todos los días, los gerentes de proximidad deben encontrar el equilibrio correcto entre autonomía y control, haciendo más compleja su misión.

Como tal, el despliegue de enfoques colectivos en los estados para facilitar intercambios y fomentar la difusión de buenas prácticas en el ámbito de la estrategia digital y tecnológica podría ser relevante como en diversos ámbitos (calidad, gestión ambiental, Internacionalización ...)

VALORAR LAS COMPETENCIAS COLECTIVAS PARA MEDIR EL DESEMPEÑO DE UN PROYECTO DIGITAL DENTRO DE LA EMPRESA / LA ORGANIZACIÓN

Objetivo: gestionar una organización del trabajo en permanente evolución valorizando las competencias individuales y colectivas (capital humano), que permite a todos asumir sus responsabilidades, en particular para acelerar la integración de las nuevas tecnologías y contribuir al desempeño en el tiempo.

Colocar al ser humano en el corazón de la Industria del Futuro invita a reducir lo duro de algunos puestos de trabajo gracias a la introducción de robots (los "cobots" o exoesqueletos) y herramientas digitales simples como tabletas u otras herramientas conectadas para permitir el monitoreo en tiempo real de la

20. Alianza.indd 459 12/17/19 16:44

producción. En otras palabras, se trata de pensar en la conducción de procesos con individuos en perfecta armonía con las máquinas. Para ello, trabajar en la ergonomía de los puestos de trabajo desde el diseño de las cadenas de producción, puede ser relevante.

UNA NUEVA GOBERNANZA PARA ASEGURAR EL DESARROLLO DE LA RESPONSABILIDAD SOCIAL EN UNA EMPRESA

Objetivo: definir los indicadores y procesos de desempeño en cada nivel de la empresa, asociando a todos los actores claves de un sector o estado, así como a las organizaciones sindicales. Este enfoque ayudará a apoyar socialmente la transformación y gestionar los impactos de forma colaborativa y responsable.

Se están desarrollando **nuevos modos de producción** como la personalización de la producción mediante impresión 3D y diversas técnicas asociadas (escáner 3D de tamaño pequeño, por ejemplo) en minifábricas flexibles en estrecha relación con su territorio. Estas islas flexibles incorporan criterios de desarrollo sostenible, en particular como la eficiencia energética de los edificios o el control del consumo durante la producción. "El trabajo humano y el trabajo de la maquinas se están poniendo en paralelo ... y finalmente unidades más pequeñas conectadas en red".

Desde la perspectiva de la responsabilidad social corporativa, **dar sentido al trabajo e**s una de las claves para una transición exitosa a la industria del futuro. En este sentido, es una potente palanca para crear valor compartido por todos los interesados (internos y externos), es fundamental proteger a los empleados de los riesgos psicosociales (agotamiento, etc.) sensibilizándolos al riesgo de hiper conectividad. El éxito será para "las empresas que tendrán la capacidad de estar al día con las expectativas profundas de cada uno". Sin embargo, estas expectativas se relacionan con la autonomía, la imparcialidad del tratamiento, el gusto de "hacer" y el significado (cuestión de sostenibilidad, especialmente en las generaciones más jóvenes).

IV. OTROS RETOS

Retos en torno a los nuevos modelos de negocios digitales.

Muchas preguntas surgen sobre este tema, particularmente con respecto a las Pymes. ¿Cómo la alta dirección anticipa los "ecosistemas digitales" en los cuales deben registrarse? ¿Cómo elegir su ecosistema digital? ¿La administración ha captado los principios de la economía de la plataforma? ¿Tiene buena visión de los ecosistemas en los que la empresa podría desempeñar un papel? ¿Ya ha desarrollado una estrategia para estas plataformas / ecosistemas?

20. Alianza.indd 460 12/17/19 16:44

Responder a estas preguntas requiere la implementación de múltiples dispositivos. En primer lugar, parece esencial crear una plataforma neutral, garantizando una justa distribución del valor, soberano en la posesión de los datos, a nivel nacional o internacional, al servicio del valor producido o creado. También se trata de favorecer las Pymes en la creación de redes o de cadenas de suministro especialmente en torno a cuestiones de plataforma.

Finalmente, y más allá de una gestión colaborativa, las empresas, especialmente las Pymes deben reinventarse y ser competitivas. Gracias a las herramientas digitales a su disposición, esto implica el crecimiento industrial, sino también por el desarrollo de una economía basada en el uso. Es sobre la excelencia en el servicio ofrecido por las empresas que se juega su rendimiento y supervivencia. En un mundo de uso, la actualización del servicio es el factor clave del éxito para toda la industria. *"La empresa del futuro es una empresa aumentada por la tecnología y los servicios".*

LA CIBERSEGURIDAD

Este problema es muy importante, ya que los ciberataques se multiplican y afectan todas las empresas, independientemente de su tamaño. De ahí la necesidad de sensibilizarlas sobre este tema y acompañarlas hacia prácticas más seguras (formación e-learning, protección de los datos sensibles a través de procedimientos de seguridad, etc.). El valor de los datos producidos, recopilados por las empresas, se subestiman en gran medida, lo que explica la falta de protección de estos activos intangibles.

LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA) Y LA CIENCIA DE DATOS

Estos son desafíos muy actuales porque hay una gran cantidad de datos en las empresas, pero no utilizadas. Sin embargo, estos son depósitos de creación de valor y de conocimiento, por tanto, aceleradores de crecimiento para estas empresas. La cuestión entonces es cómo ayudar a las Pymes en identificar y analizar mejor sus datos. ¿Acercando universidades mediante la promoción de cursos en alternancia? ¿Ofreciendo colaboradores de tiempo compartido entre varias empresas?

RESUMEN

La transformación digital en el corazón de la Industria del Futuro es una paradoja, porque es **sinónimo de aceleración en una larga duración**, lo que es muy per-

20. Alianza.indd 461 12/17/19 16:44

turbador para el conjunto de los actores interesados. Sin embargo, la industria del futuro es **un vector poderoso de transformación del modelo social**.

Todas las empresas se encuentran entonces en un **ecosistema conectado en busca de creación de valor compartida con sus grupos de interés:** tanto internos - con una sólida necesidad de significado para todos, incluso para conciliar diferentes perfiles de empleados, externos - con los clientes involucrados desde la concepción de los productos y servicios ofrecidos y que están en demanda de datos disponibles en tiempo real ... Por lo tanto, las organizaciones deben volverse ágiles y aprendices, y fomentar las experimentaciones.

Los directivos tienen que **reinventar su papel** para ser las fuerzas motrices de esta profunda transformación de las empresas. Para esto, necesitan ser **sensibilizados y entrenados a lo largo de sus vidas**. Retos que requieren un fuerte apoyo de las políticas públicas.

V. FORMACIÓN Y ACOMPAÑAMIENTO DE LOS ASALARIADOS Y FUTUROS EMPLEADOS

Las reflexiones se centran en la empleabilidad a largo plazo de los activos o de los futuros activos. Para comprender la necesidad y la urgencia, algunos elementos de carácter prospectivos son recordados en la introducción.

EMPLEO Y DESARROLLO DE COMPETENCIAS.

Se destaca que la problemática asociada a la revolución tecnológica no es tanto **el fin del trabajo sino el de una gran transformación**. Durante los próximos 10 a 15 años, aproximadamente la mitad de los empleos sufrirán un cambio profundo en su contenido. Por lo tanto, es necesario contar con mejores herramientas para anticipar e identificar necesidades de competencias, pero también para reformar el sistema de formación y certificación profesional.

De hecho, las tecnologías en sí mismas no son ni buenas ni malas: es su uso por parte del humano que los caracterizará. Por eso es imprescindible identificar las competencias necesarias garantizando el correcto uso de las nuevas tecnologías tanto para los directivos, los empleados actuales y futuros.

ENFRENTADO A ESTE DESAFÍO, SE IDENTIFICÓ 3 CATEGORÍAS DE COMPETENCIAS.

En primer lugar, y directamente relacionado con la transformación de los empleos por las tecnologías, **se requieren de nuevas competencias técnicas** para los

20. Alianza.indd 462 12/17/19 16:44

profesionales cuyas actividades es transformada por el uso de las tecnologías en su negocio. Estas competencias técnicas incluyen obviamente la experiencia digital, pero otras competencias requeridas al aumentar la complejidad de las tareas a lograr, independientemente del nivel de cualificación.

También se movilizan **competencias generales de nivel digital y cognitivo**. En lo que respecta a la tecnología digital, se trata de permitir a todos, operar en un entorno digitalizado, con un pensamiento crítico, percepción de la confidencialidad, cuestiones éticas ...

Las competencias cognitivas generales implementan la alfabetización y la aritmética, que son obviamente mucho más solicitadas en un entorno de trabajo digitalizado. Sin embargo, los trabajadores empleados tienen un nivel de control que los ponen en dificultad en su trabajo actual o en la búsqueda de un nuevo trabajo, deben progresar para estar cómodos, con una brecha preocupante entre las competencias esperadas en situación profesional y las personales.

Pero las tecnologías también generan una mayor demanda generalizada de **competencias sociales** (trabajo en equipo, inteligencia social) **y de actitud** (autonomía, aprender a aprender), a menudo descritas como competencias blandas (soft skills). Muy a menudo mal definidas o mal tomadas en cuenta, estas competencias son esenciales ante los trastornos que las tecnologías introducen en las relaciones humanas en el ámbito profesional.

Dados estos hallazgos, es importante encontrar soluciones que permitan a la Industria del futuro destacar y aprovechar las transformaciones de los oficios de mañana brindando respuestas y soluciones para mejorar la formación de los empleados y alumnos garantizando su empleabilidad.

PROPUESTAS: PARTICIPAR, INDIVIDUALIZAR, INDUSTRIALIZAR FORMACIONES Y APOYO

Esta necesidad de formación se divide en dos áreas principales: formación continua e inicial.

Formación continua

La cuestión de la formación continua o de formación a lo largo de la vida, es fundamental. Debe permitir ofrecer a los empleados activos, formaciones para desarrollar **sus competencias y garantizar su empleabilidad** frente a las tecnologías del mañana

20. Alianza.indd 463 12/17/19 16:44

Individualización e industrialización de la oferta de formación.

La individualización de la formación se ha convertido hoy en día en la forma más efectiva de asegurar un aumento en la competencia de los individuos. Especialistas en la ciencia cognitiva y de la educación deberán ponerse de acuerdo en la necesidad de tener en cuenta los objetivos del alumno, su aprendizaje, su ritmo de aprendizaje ...y movilizar recursos adecuados de él. Este es un objetivo decisivo en la construcción de los cursos de formación.

Pero al mismo tiempo, el objetivo de las autoridades públicas es aumentar la oferta de formación, en vista de la importancia del cambio económico, la persistencia del número aún demasiados jóvenes que se van sin calificaciones iniciales, el desafío de crecimiento cualitativos de nuestros sectores económicos, la necesidad también de satisfacer las aspiraciones legítimas de nuestros conciudadanos en términos de promoción social y la garantía de sus trayectorias profesionales.

El imperativo de la individualización de las formaciones y la necesidad de la masificación, y por eso la industrialización de las formaciones no son antinómicas. La industria de la formación está inspirada en la industria manufacturera, que busca constantemente conciliar el efecto serie y la personalización de la oferta del producto. Se trata de proponer formaciones reconocidas por su alto nivel de calidad, accesible a un gran número de aprendices, según un modelo de precios que hace que esta masificación sea sostenible tanto para los proveedores como para los financiadores de la formación.

La propuesta se centra en el establecimiento de dispositivos que **faciliten tanto la Industrialización y la personalización.** Esto consistirá en estandarizar los contenidos de aprendizaje, de acuerdo con una granularidad relativamente fina haciendo ecos a conjuntos de competencias y **bloques de competencias**, y ensamblar estos contenidos bajo la necesidad de cada individuo. En el mismo sentido, la identificación previa del recorrido tipo adaptará el formato educativo de cada contenido a un análisis contextualizado de las necesidades de los alumnos.

La tecnología digital (las tecnologías 4.0) es **una forma de industrializar una oferta de formación a la medida**, con la provisión de contenidos de aprendizaje con guiones a través de formaciones híbridas que combinan secuencias virtuales y presenciales, gracias a situaciones de formación síncrona y asíncrona, y mediante la movilización de la formación formal e informal. Data e Inteligencia artificial, realidad virtual y aumentada, las tecnologías conversacionales son todas necesarias para esta industrialización.

Estas evoluciones pedagógicas y tecnológicas suponen definir un nuevo modelo económico de invertir en la creación de recursos. (dinero semilla, creación de un sistema de anticipos en los recibos, que prevalecen en el campo de la creación audiovisual; elegibilidad de estos gastos en los fondos compartidos de

20. Alianza.indd 464 12/17/19 16:44

la formación; crédito de impuesto; Cambio en las modalidades de remuneración de los prestadores de formación) y revisar las profesiones de formación en vista del auge de ciertas actividades (diagnóstico de las necesidades de los alumnos, apoyo personalizado. recorridos que están sujetos a ajustes iterativos; Uso de mentoría y comunidades de aprendices, porque lo digital no es la panacea...). También parece imprescindible, por el criterio de descompartimentalización entre la formación en tiempo de trabajo y fuera del tiempo de trabajo, de fortalecer la acción de los consejos de desarrollo profesional creados en 2013.

Existe, ante el problema de la educación continua, un problema de descompartamentalización de estados. En este contexto, se destaca lo digital como una solución para Industrializar la oferta de formación continua. De hecho, el uso de la educación a distancia permite aunar la demanda de competencias de los empleados, pero también facilitar a los empleados de las empresas ubicadas en periferia o aislados unos de otros. Aunque las formaciones híbridas parecen ser la capacitación presencial más efectiva también lucha por ser rentable debido a la falta de número suficiente de empleados interesados en el territorio.

Bloques de competencias y formación a lo largo de la vida: una articulación por construir

En el contexto inestable de las empresas de la industria del futuro, para que la formación a lo largo de la vida sea una realidad y no un eslogan, requiere un suministro de formación (la formación es una forma) y un sistema de certificación (la certificación es un fin, el diploma es un formulario) que es ágil, egocéntrico y responde a las necesidades de las empresas.

Por lo tanto, se trata de alinear las necesidades de competencias de la industria con la capacitación, por un lado, al dar mayor agilidad a las empresas y estructurar la formación continúa en bloques de competencias, para asegurar la empleabilidad de los asalariados a largo plazo.

Los diplomas y todas las certificaciones profesionales han sido progresivamente declinados en competencias y expresados en términos de resultados de aprendizaje comprobados. La noción de bloques de competencias ha aparecido recientemente en el código laboral. Definido como una parte identificada de la certificación profesional, el bloque de competencias es, como la certificación a la que pertenece. En última instancia, todos los grados deberán estar estructurados en bloques de competencias.

Para una dinámica de formación permanente que es individualizada y personalizada, un bloque debe poder trabajar solo o unido a otros bloques de la certificación en cuestión, sino también para otras certificaciones. Para ello, se necesita un mínimo de consistencia y un mínimo de legibilidad. En esta lógica,

20. Alianza.indd 465 12/17/19 16:44

muy importante para la dinámica de la industria del futuro, **debe ser posible,** fácilmente, **pasar del mundo de los títulos y certificaciones profesionales al de los diploma**s. El titular de un título profesional de nivel III debe poder ir hacia una licenciatura, etc. En otras palabras, se trata de unir efectivamente la formación inicial y la formación continua.

Todo esto debe permitir la reanudación de estudios para los empleados que lo deseen y reconocer las competencias adquiridas en la educación continua como por la formación inicial. Entendemos que esto implica revisar en profundidad la misma estructura del directorio nacional de certificaciones profesionales, y colocarlo bajo la tutela de una nueva autoridad reguladora independiente.

La Industria del Futuro finalmente debe aumentar la participación principal del lugar otorgado a las soft skills. Esta revolución industrial no puede satisfacerse con un enfoque simple en términos de la tecnología, es necesario tener en cuenta las competencias más transversales. En este sentido, los profesionales deben promover el desarrollo de **Certificaciones de calificación profesional intersectoriales**. Esto debe permitir introducir una mayor transversalidad garantizando la construcción de puentes entre los oficios de un mismo sector, o incluso de sectores diferentes.

Reconocimiento del estado hacia la empresa formadora.

En la cadena de las formaciones, que van desde los fundamentos que son bastante estables, hasta las capacidades prácticas, operativas y técnicas de los empleos de la Industria del Futuro - competencias inestables y en evolución - las empresas deben desempeñar un papel creciente. Porque la evolución es tan rápida, a veces tan brutal, que el sistema de formación profesional no es capaz de reaccionar a la velocidad requerida.

La participación de las empresas en la formación profesional es ante todo una respuesta a sus propias necesidades. Para formar a los jóvenes que no empleamos, para mejorar la empleabilidad de activos que no están necesariamente dentro la empresa o que se irán, es participar en una misión general de carácter social.

Las empresas multiplican las iniciativas de formación profesional para los jóvenes y los activos. Las empresas están ampliando la formación continua de sus empleados a colaboradores de tiempo compartido, trabajadores temporales, subcontratistas. Algunos de ellos dedican colaboradores en otras empresas (dentro de un clúster, por ejemplo) para ayudarles a aumentar sus competencias. Otros invierten en plataformas de intercambio de experiencias o de conocimientos, tales como el "FabLab", vitrina tecnológica educativa abierta sobre su ecosistema. Otros más están desarrollando aplicaciones abiertas de e-learning. Empresas mul-

20. Alianza.indd 466 12/17/19 16:44

tiplican puestos de aprendizaje bien supervisados. Para satisfacer una necesidad de reconocimiento de la cualificación expresado por los colaboradores, o para responder a una necesidad interna de competencias, algunas empresas están construyendo calificación para los jóvenes o activos.

La primera parte de la propuesta es que estas empresas deben ser reconocidas como actores esenciales en el sistema de formación profesional y no sólo como socios. Por lo tanto**, el estado de la empresa formadora debe ser reconocida**. Una certificación específica debe ser creada y debido a que es una misión de interés general, este estado debe ser fiscalmente reconocido.

Se requiere de la creación de un crédito fiscal específico de formación profesional que recompensaría los esfuerzos de las empresas formadoras en formación de jóvenes y adultos y reconocer que cumplen con una misión de interés general.

Formación inicial

La cuestión de la formación inicial es también fundamental en la media donde es responsable de la formación de los ejecutivos, ingenieros y técnicos que garantizarán la competitividad de la industria del futuro. Por eso es muy fundamental que las formaciones que conducen a estas profesiones responden a las necesidades expresadas por el mundo industrial para estar en adecuación con las competencias futuras buscadas.

Proponemos aquí dos áreas de desarrollo para las instituciones de formación para proporcionar una formación calificada y garantizar el empleo de los alumnos.

Desarrollar una solución para anticipar las necesidades de competencias y oficios

En un mundo donde el ritmo del cambio y donde las rupturas se aceleran, la gestión previsional de puestos de trabajo y competencias en las empresas se convierten en tanto más arriesgada y más indispensable. También debe asumir una dimensión territorial, aquellas cuencas de empleo.

Esta gestión debe realizarse de forma continua y sistemática, y basarse en una porosidad entre la comunidad educativa y las empresas.

Programa "intentemos la industria"

Lanzado en marzo de 2016 por iniciativa del Consejo Nacional de Industria y de la Alianza Industria del futuro de Francia, el proyecto "intentemos la Industria"

20. Alianza.indd 467 12/17/19 16:44

apunta a crear un "*portal de Internet para informar los estudiantes y sus familias sobre los oficios, las formaciones y las necesidades de reclutamiento".*

Este programa tiene como objetivo identificar los oficios y competencias de mañana para darles una mayor lectura a los jóvenes para su futura entrada en el mercado laboral y también para apoyar el desarrollo de nuevas competencias a introducir en los diplomas actuales y adecuarlos a las necesidades del mercado.

Por lo tanto, se trata de gestionar con una frecuencia mucho mayor de lo que era en el pasado, porque los tiempos del ciclo de vida de las competencias se están acelerando. Nuevas competencias aparecen hoy y se convierten en estratégicas, o diferenciadoras, con tiempos mucho más cortos. Más allá de esta verdad macroeconómica o macrosocial, las propias empresas de nivel micro también deben reinventarse en tiempos más cortos, tanto el panorama competitivo como el tecnológico está cambiando rápidamente. Entre los dos, en un nivel intermedio, hay territorios que son transformados o son trastornados por las evoluciones de las rupturas mencionadas.

Programa Factory Lab

El programa *"Factory Lab",* llevado a cabo como parte de la alianza Industria del Futuro por un consorcio de industriales y socios académicos con el apoyo del banco BPI Francia, tiene como objetivo promover la integración de las nuevas tecnologías en los procesos industriales para hacerlas más innovadoras. Se trata de realizar una prueba de viabilidad industrial mediante la integración de tecnologías maduras y acompañar las empresas durante 18 meses en esta integración.

Esto necesariamente tiene un impacto en términos de formación continua para los empleados de la empresa interesada. El programa, por tanto, prevé el desarrollo de módulos específicos de formación continua que luego se ampliarán y difundirán a todas las empresas que deseen beneficiarse.

La gestión de los empleos y competencias también debe ser sistemática. La explotación de datos, la captura y explotación de señales débiles permiten anticipar competencias emergentes e identificar aquellos en riesgo de obsolescencia.

Las fuentes de datos son muchas y variadas: algunas son disponibles para las autoridades públicas o estructuras consulares, tales como cámaras de comercio; Otros son creados y publicados por ramas profesionales, otros están en manos de terceros, como LinkedIn o Google, que pronto usaremos el maná de datos gentilmente proporcionada por los ciudadanos para valorizar esta inteligencia consolida con los empleadores y probablemente con las autoridades públicas.

Para responder a estos desafíos, se trata **de configurar plataformas**, con las cuencas del empleo, por una parte, y los sectores empresariales, por otra, unidas entre ellas para identificar nuevas competencias requeridas por negocios y oficios

20. Alianza.indd 468 12/17/19 16:44

que reclutan. Estas informaciones se completarán con elementos de los cursos típicos de capacitación que permiten a los empleados y futuros empleados adquirir estas competencias y prepárese para practicar estos oficios. Las indicaciones sobre los niveles salariales serán también mencionadas.

Estas plataformas serán útiles para los empleadores, principalmente los jefes de Pyme, que podrán gracias a la información sectorial proporcionada y actualizada de forma continua, volver a un enfoque mucho más regular y cuantificado. Estas herramientas serán útiles para los jóvenes (con sus familias) y para los bienes, quienes podrán convertirse en los actores de la propia empleabilidad. La personalización de trayectorias profesionales y recorridos de formación serán facilitada. Esta solución podrá apoyarse a mínima sobre los datos públicos mencionados anteriormente, que debería estar abiertas, pero sería interesante que el poder público se acerque más a los actores privados que disponen de una riqueza de informaciones considerable.

Establecer una estrategia para anticipar la evolución de las líneas de negocios

Si se pueden implementar acciones concretas sobre lo que sabemos, es importante poner en marcha una lógica de anticipación "continua":

- generalizar la formación más allá de los recursos humanos, a todas las profesiones del management para una toma de conciencia de cada futuro gerente, con el objetivo de proporcionar a los departamentos de RRHH, relés en cada uno de los departamentos de la empresa;
- Identificar un panel de empresas representativas para compartir los ejes de evolución observados y las hacer evolucionar en las formaciones;
- imponerse una evolución sistemática de los programas de formación, por sector, cada 2 años, especialmente promoviendo el intercambio concreto entre empresas y organizaciones de formación (formación inicial y continua) a través de la integración de los módulos entregados por activos, operacionales en el campo.

La anticipación también significa preparar equipos para evolucionar, regularmente: integrar en los cursos, cualesquiera que sean, módulos adaptados de acuerdo con el tipo de nuevas tecnologías, la gestión del cambio, el principio de innovación, el *lean management* para que todos puedan aportar concretamente, sea cual sea su posición.

La interacción entre los mundos educativos y las empresas debe incrementarse dramáticamente. "*cómo preparar a los jóvenes para enfrentar a una*

20. Alianza.indd 469 12/17/19 16:44

trayectoria profesional que será marcada por su no linealidad y requerirá una gran agilidad y resiliencia si el personal docente percibe poco y no vive de ninguna manera, el ritmo de transformación del negocio?".

El eje de mejora que se escogió principalmente es aumentar la vinculación entre las Instituciones educativas y las empresas en la formación de estudiantes. Esto puede ser a través de asociaciones de negocios con un enfoque de ganar-ganar entre las partes interesadas y garantizando una movilidad del personal en ambas direcciones.

Podemos citar como ilustraciones los siguientes dispositivos:

1. La posibilidad ofrecida a los docentes de una movilidad en las empresas. Esto puede hacerse a corto plazo a través de una evolución de los esquemas de compensación o participación en los beneficios que el Estado podría apoyar, en particular, a través de los contratos plurianuales que realiza con sus operadores, y en el mediano plazo, haciendo obligatorio el paso por una empresa o al internacional - para cualquier promoción;
2. El auge de los maestros del aprendizaje (ver siguiente propuesta). Estos ejemplos, además de ayudar a los jóvenes a encontrar trabajo, les proporcionan mejor orientación porque se enfrentan muy temprano con su futuro trabajo y pueden reorientar temprano en su carrera si es necesario, junto con profesionales, ya sean profesores o empleados de empresas - conscientes de su entorno educativo e industrial.

Los dispositivos colaborativos pueden favorecer este tipo de enfoque y estas conexiones, como muestra el siguiente ejemplo.

CAMPUS DE LOS OFICIOS Y CALIFICACIONES

Reúnen a actores de formación en torno a un sector de excelencia correspondiente a un desafío económico regional o nacional apoyado por la comunidad y empresas (clústeres, desarrollo de nuevos sectores industriales ...): Aeronáutica, edificación y obra pública, nuevas energías, digital, metalurgia, etc. Su objetivo es crear sinergias entre escuelas preparatorias profesionales, centros de formación de aprendices, organizaciones de formación, instituciones educativas, laboratorios de investigación y empresas. Agrupando juntos en un mismo Lugar y / o red de instituciones secundarias y superiores, se asocian empresas, laboratorios de investigación y asociaciones deportivas y culturales.

Ofrecen a los jóvenes centros de excelencia ofreciendo una gama de formaciones generales, tecnológicas y profesionales, hasta el más alto nivel, en un

20. Alianza.indd 470 12/17/19 16:44

campo de actividades del futuro. Permiten a las empresas contratar empleados bien capacitados.

Hacer del aprendizaje una herramienta competitiva para las pymes

En la economía moderna, las Pymes ocupan un lugar considerable en términos de puestos de trabajo. La reducción del desempleo pasará por ellas. Pero en el campo industrial o de servicios a la industria, muchos se debilitan, en particular por su falta de anticipación, su aislamiento geográfico o su dificultad de reclutamiento. Las plataformas objetos de la propuesta anterior, les proporcionará elementos de respuestas.

Como parte de la encuesta de percepción, se observa que las respuestas a la pregunta relacionadas con el aprendizaje no son tan entusiastas como para los otros temas. Detectamos que este sector no está actualmente bien reconocido por el público en general, como siendo un sector prometedor. Afortunadamente, la imagen de un sector "reservado" a jóvenes en situación de fracaso escolar orientándose a oficios manuales (cocina, peluquería, construcción, reparación de automóviles ...) se desvanece un poco. Hoy en día, los cursos de aprendizaje son muy diversificados, especialmente en servicios industriales y tecnológicos y lo más importante, **un tercio de los aprendices preparan hoy un diploma en educación superior.**

Sin embargo, resulta que las pymes ven el aprendizaje y la alternancia como dos principales palancas para ayudar a implementar su transición a la Industria 4.0. Las Pymes enfrentan grandes dificultades y renuencia a participar en la industria 4.0, por falta de formación de sus empleados. El Aprendizaje y la alternancia son una forma de realizar el intercambio de conocimientos entre empleados experimentados que transmitirán sus conocimientos a los estudiantes, y los estudiantes capacitados en las nuevas tecnologías que animarán a la empresa y sus empleados a integrar nuevas herramientas que pueden ver durante su entrenamiento. Encontramos una lógica de ganar-ganar en esta solución.

Sin negar los problemas que siguen vinculados al aprendizaje, queda por reforzar el aprendizaje como un vector para crecimiento en competencias de las pymes. Para ello, debemos impulsar a las pymes industriales y de servicios a la industria para reclutar a muchos más jóvenes que se preparan para la certificación o un diploma Nivel III mínimo, a través del aprendizaje. Hay obstáculos que superar. Un primero puede residir en la ausencia de un maestro de aprendizaje preparado para asumir explícitamente este rol, especialmente si el aprendiz posee habilidades con poca o ninguna representación en la Pyme, lo que puede ser frecuente en el camino de la industria del futuro. Esta dificultad se acompaña de una relación débil con los entrenadores del Centro de Formación de Aprendices

20. Alianza.indd 471 12/17/19 16:44

en la que se capacita al joven. Un segundo obstáculo está relacionado con la libertad del aprendiz. La Pymes arriesga a ver al aprendiz, una vez entrenado, rechazar la oferta de un trabajo como resultado de su aprendizaje y dejarlo ir a otra empresa o continuar sus estudios. La anticipación de tal riesgo puede constituir un verdadero obstáculo para la contratación inicial de un aprendiz.

Para superar estas dificultades, la propuesta se divide en dos partes.

Primero, **la creación de un estatuto de maestro de aprendizaje** para un empleado que dirigirá al aprendiz con un entrenamiento si es necesario. Este maestro asegurará un mejor entrenamiento y apoyo al aprendiz, lo que lo alienta a permanecer en la compañía una vez completado su contrato de aprendizaje.

Para que esto suceda, es esencial que se crea una oferta de capacitación al "oficio" de maestro de aprendizaje. Esta capacitación será una "inversión" de la empresa que tendría un tratamiento fiscal particular (ver empresa de formación). La oferta, soportada por un referente de competencias, tendrá al menos un componente de ciencia cognitiva y una de psicología y de sociología. Llevará al reconocimiento de un estatuto de Maestro de aprendizaje certificado.

La oferta de estas formaciones certificadoras se incluirá en los Contratos del Plan Regional de desarrollo de las formaciones y de la orientación profesional, y en los planes estratégicos del desarrollo del aprendizaje regional.

Los maestros de aprendizaje certificados estarán asociados con las reflexiones de la compañía sobre su GPEC y su política de formación. Habrán sido preparados para ser formadores internos y tendrán un papel en la bienvenida y asistencia a los nuevos empleados de la empresa, especialmente de los jóvenes.

La segunda parte está dirigida a crear **un tratamiento fiscal** de todos los cargos y riesgos asumidos **por la empresa dedicada al aprendizaje**, similar en el espíritu a la mencionada de la empresa de formación. Puede tomar la forma de una reducción del importe del impuesto de aprendizaje pagado o un crédito fiscal para pata todas las empresas interesadas.

Habrá un aumento sustancial en el crédito fiscal para aquellas que contraten un aprendiz por primera vez en una lógica de crecimiento de competencias, lo que proporcionara una incitación a desarrollar el aprendizaje donde no estaba presente antes e ir hacia la industria del futuro.

VI. RESUMEN Y RECOMENDACIONES

Con base en estas observaciones y de los elementos anteriores, enfocamos nuestras reflexiones sobre la implementación de tres recomendaciones normativas de nuestros trabajos.

20. Alianza.indd 472 12/17/19 16:44

1. Adaptar el sistema de ingeniería y reconocimiento de las certificaciones a las exigencias de la economía y la sociedad.

La oferta de formación profesional a lo largo de la vida es heteróclita, sobreabundante en algunas áreas (desarrollo personal, gestión...), con niveles dispares de calidad de los organismos, y demasiado pequeños en otros (formaciones tecnológicas...). Podríamos argumentar que debemos confiar en el mercado y las reglas de la competencia. La observación es que esto no es suficiente.

La Comisión Nacional de Certificación Profesional es una cámara de registro de títulos y diplomas, cuya calidad de las formaciones no es verdaderamente evaluada.

Las comisiones elaborando los estándares de oficios y marcos de competencias que conducen a las certificaciones son múltiples y a menudo duplicadas (CPC, CPNEF de rama).

Por otro lado, los jóvenes y los trabajadores construyen, y construirán aún más mañana, recorridos de formación no lineales, alternando diferentes situaciones, vinculando secuencias de formación en diversos contextos, formación inicial, educación continua, vía escolar o universitaria, vías de la alternancia, en organismos públicos de varios ministerios o privados. Estos recorridos deben poder ser construidos basándose en un adecuado sistema de certificaciones que se entrelazan adecuadamente entre sí. Los bloques de competencias son la base.

Ante un panorama poco legible, se propone la creación de **una autoridad reguladora:**

1. Sería la autoridad unificadora de las comisiones que elaboran los referentes de oficios y de las competencias
2. Establecerá reglas universales para el desarrollo de bloques de competencias y vigilará a su aplicación;
3. Evaluaría a los organismos de formación y las acreditaría para prepararse para a certificaciones en áreas y niveles especificados caso por caso;
4. Evaluaría ex-post las formaciones impartidas y tendría un poder sancionador de los organismos

La Agencia garantizaría la calidad y la eficiencia del Sistema de formación profesional a lo largo de la vida.

2. Reconocer a la empresa como uno de los componentes del sistema de la formación profesional; etiquetar la "empresa de formación", abrirle la posibilidad de un crédito fiscal de formación.

Hemos visto anteriormente que las empresas multiplican las iniciativas en formación profesional de los jóvenes y de los activos. Para ir mucho más lejos

20. Alianza.indd 473 12/17/19 16:44

en número de empresas comprometidas en estas formas virtuosas de construir la industria del futuro, es:

1. Valorar las empresas que multiplican las iniciativas en formación profesional de los jóvenes y sus activos, reconociéndolos como actores esenciales en el sistema de la formación profesional y no solo como socios. Por lo tanto, el estatuto de empresa formadora debe ser creada; y sería reconocido por una certificación. Y porque se trata de una misión de interés general, este estatuto debe ser reconocido desde el punto de vista tributario;
2. Establecer un crédito fiscal de formación profesional que reconozca los esfuerzos de las empresas de formación certificadas en formación de los jóvenes y de los adultos; reconocería que cumplen una misión de interés general. Esta novación fiscal reduciría la reticencia de las empresas a resaltar el costo de tales iniciativas para no tomarla o no les dé la amplitud apropiada.

3. Convertir el maestro del aprendizaje en un actor central del desarrollo de competencias en la empresa, entrenarlo en consecuencia, reconociendo su estatus.

La reforma del aprendizaje fue una necesidad, y está comprometida por el gobierno en sus ejes prometedores. La calidad del aprendizaje depende en gran medida de la calidad de las secuencias en las empresas. Y esto depende, en gran parte, del papel que tiene el maestro de aprendizaje. La preparación de los colaboradores de una empresa para realizar la función de maestro del aprendizaje es necesaria.

Por lo tanto, se propone establecer el **estatuto de maestro de aprendizaje certificado**. Este estatuto se lograría a través de la certificación apropiada, incorporando aspectos y un monitoreo efectivo de al menos un aprendiz durante dos años. Este estatuto estaría acompañado de reconocimiento financiero apropiado y una red social nacional de los maestros de aprendizaje certificados sería creado.

20. Alianza.indd 474 12/17/19 16:44

Fabricación aditiva (3D)*

SUMARIO

I. Preámbulo II. Contexto general III. Hacia el futuro I + D: investigación de rendimiento y competitividad IV. Juntar la oferta con la demanda V. Fomentar un sector industrial emergente.

I. PREÁMBULO

La fabricación aditiva[1] es una de las tecnologías más representativas de estas grandes transformaciones disruptivas, con fuertes intereses económicos a corto, medio y largo plazo. En un momento en que aparecen las primeras líneas de producción industrial y donde las solicitudes de patentes se multiplican en cantidades impresionantes, los estados y los actores privados invierten recursos considerables en el desarrollo de la *fabricación aditiva*.

Las ventajas francesas se deben a su fortaleza académica, su ecosistema industrial regional y nacional. Es hoy una gran oportunidad para que Francia pueda destacarse y posicionarse en la escena internacional.

En el caso particular de la *fabricación aditiva*, esta oportunidad encuentra toda su expresión en la descompartimentalización radical de las estructuras tradicionales, desde el principio hasta nuevos enlaces intersectoriales (aeronáutica, automoción, ferroviario, naval, energético, médico,...) en cadenas de valor originales, únicas a poder realmente desatar las palancas más ambiciosas de la competitividad económica.

* La presente investigación auspiciada por el Gobierno francés, se incluye en este libro bajo la autorización del Señor Alfred Rodríguez, Embajador en México de la Alliance Industrie du Futur y Presidente de la comisión de innovación y tecnología para la competitividad, Confederación de Cámaras Industriales de los Estados Unidos Mexicanos (CONCAMIN).

[1] La fabricación aditiva en México es conocida como Impresión 3D (N.R).

21. Fabrica.indd 475 12/17/19 16:44

Finalmente, dada la amplitud y la profundidad de los campos de investigación, de optimización interdisciplinaria y de procesos *en fabricación aditiva*, ningún actor privado o público tiene la capacidad de desarrollar solo los programas de I + D y de desarrollo de mercado necesarios para abordar las diferentes cuestiones de la introducción de *la fabricación aditiva* en la cadena de valor industrial. La Iniciativa de *Fabricación Aditiva* en la *"alianza Industria del futuro"*, con el apoyo de las autoridades públicas, está destinada a unir y polarizar todas las energías locales.

Es con esta visión que la *"Alianza para la Industria del Futuro"* en su comité de Pilotaje presidido por el "Ministro de Economía, de la Industria y del digital" ha decidido distinguir como prioritaria, la *fabricación aditiva*.

En su misión de operador, la "*Alianza para la Industria del Futuro*" reunió a todos los actores: académicos e industriales con las autoridades públicas, a nivel nacional y regional para enfocar mejor los recursos e inversiones, acciones coordinadas, maximizar los beneficios para la competitividad industrial y el Interés general.

LA INICIATIVA DE FABRICACIÓN ADITIVA DE LA "ALIANZA INDUSTRIA DEL FUTURO"

La *"Alianza Industria del futuro" (AIF*), creada en julio de 2015, es el operador de la Política pública industrial "*Industria del Futuro*". Agrupando todas las fuerzas de la Industria francesa, centros académicos, de investigación y desarrollo, así como los organismos de financiamiento.

Iniciativa voluntariamente operativa, los pioneros de este naciente sector industrial han conducido al surgimiento de 80 propuestas de hojas de acción, cuya implementación permitirá construir su futuro. La estructuración, priorización e instrucción profunda de estas propuestas de hojas de acciones permiten hoy elaborar una primera hoja de ruta nacional y colegiada para la *fabricación aditiva.*

Finalmente, este trabajo colegiado y cooperativo ha ayudado más generalmente a establecer una verdadera comunidad fértil en proyectos colaborativos, investigación pragmática de sinergias, optimización y concientización de los problemas comunes.

II. CONTEXTO GENERAL

PARTICULARIDADES DE LA FABRICACIÓN ADITIVA

La *fabricación aditiva* representa diversas técnicas de fabricación mediante la adición de material de un objeto tridimensional a partir de un modelo digital 3D y por lo tanto es directamente relacionado con el desarrollo de industrias "inte-

21. Fabrica.indd 476 12/17/19 16:44

ligentes", "ágiles", "modulares", cerca de los centros de uso, especialmente para la gestión de la cadena de adquisiciones y el desarrollo de productos. Las dos grandes ventajas de la *fabricación aditiva* en comparación con otros procesos de producción de piezas son la realización competitiva de piezas con formas complejas (permitiendo, por ejemplo, agregar funciones, la reducción de la masa de piezas y reduciendo el número de piezas dentro de una estructura induciendo así una ganancia en el montaje) y la posibilidad de realizar series flexibles muy pequeñas, favoreciendo así la personalización a gran escala. Estas características también ayudarán a favorecer acercamientos sistémicos muy integrados con nuevas capacidades de piezas electrónicas más cercanas a la necesidad.

En la industria, detrás del término *fabricación aditiva* se esconden diferentes tecnologías que pueden segmentarse en tres familias de materiales*: metálico, polímero y cerámica*. Las peculiaridades de estos entornos hacen necesario una acción original y bien coordinada. Estas tres familias no son ni exclusivas entre sí, ni exhaustivas (este alcance se consideró a la luz de los objetivos de competitividad a medio plazo de los sectores industriales y por lo tanto no considera, por el momento, la fabricación de aditivos de tejidos biológicos u orgánicos, edificios, alimentos...).

EL METAL Y SUS PECULIARIDADES

La peculiaridad tecnológica tiene 5 características principales:

- Interacción entre materia (tipo de material) y energía (tipo de energía). Más que el aumento en la generación de energía es la mejora en la eficiencia que es prioridad
- Estructura estadística del polvo (morfología / granulometría, compactación, química, presencia de defectos);
  - Multi estado (sólido / líquido / gaseoso);
  - Escala multi física;
  - Presencia intrínseca de defectos: necesidad de una predicción de su impacto.

Esta característica tecnológica también está relacionada con el proceso:

- Tecnología accesible a las pymes, las estrategias de acceso y posibles inversiones en equipos propios son "modulares" (por niveles de inversión indivisibles) pero su aprovechamiento debe ser máximo (la reducción del tiempo del ciclo es fundamental para hacer competitiva a la tecnología requiriendo una ruta de apropiación:

21. Fabrica.indd 477 12/17/19 16:44

- ***Necesidad de formación específica***, combinando competencias procesos y habilidades metalúrgicas.
- Necesidad de procesamiento posterior / finalización sin borde. Los óptimos económicos (polvo / proceso / post tratamiento) se estabilicen;
- Acoplamiento digital / físico: acceso a funciones / diseños que son inaccesibles con medios tradicionales, procesamiento digital multi escalas;
- Necesidad de controlar con precisión el proceso para garantizar su calidad y repetibilidad, así como la viabilidad de ciertas formas o microestructuras.

Y finalmente en relación con los mercados:

- Dada su naturaleza disruptiva, la predicción sistemática (modelos de rendimiento de las inversiones,...) de los slots de interés (y sus horizontes)
- Transición de una empresa de prototipos a un enfoque verdaderamente industrial en volumen, en ritmo, en reproducibilidad,...)
- La tecnología para el metal. Provoca la aparición de modelos de negocio innovadores.

LOS POLÍMEROS Y SUS PECULIARIDADES

Vinculado al material

- Estructura estadística del material entrante y definición de un modelo de comportamiento de conformación (polvo, gránulos, alambre fundido);
- Extensión (abundancia) de las posibilidades del material (material ignífugo, cristal, cargados, compuestos, ...) / fin de la limitación amorfa o semi cristalina según el método.

Vinculado al proceso

- Necesidad de capacitación específica en diseños y procesos de ladrillos de diseños y procesos (procesos y resultados a distancia de los procesos habituales de los futuros usuarios de fabricación aditiva polímeros).
- Integración del proceso en una cadena de producción estándar, permitiendo la hibridación Fabricación aditiva y tecnología tradicional, incluido el levantamiento de límites geométricos y estéticos de la tecnología.
- Funcionalización de productos por múltiples materiales, permitiendo entre otras cosas la integración de funciones electrónicas ("plastrónica" aplicada a la fabricación aditiva)
  – Desarrollo de aplicaciones multi materiales.

21. Fabrica.indd 478 12/17/19 16:44

Vinculado al mercado.

- Acceso a la personalización a gran escala para aplicaciones de consumo.
- Ampliamente desarrollada antes del metal, la tecnología inspira modelos de negocios innovadores, pero cuya solidez a lo largo del tiempo debe ser reconsiderada (bajando los costos). Buscando la transición de un negocio de prototipo a un enfoque verdaderamente industrial (aumento de volumen, cadencia, reproducibilidad...);
- Creación de nueva cadena de valor (desplazamiento del lugar de producción por el uso de biblioteca de objetos, moviendo del valor del objeto al valor de su archivo digital)

EL CRECIMIENTO DEL MERCADO ES UN HECHO

Gracias a las posibilidades ofertas por la *fabricación aditiva*, numerosas perspectivas industriales, se abren a la escala internacional y el mercado crece cada año de más del 30%.

POSICIÓN DE FRANCIA

Francia es competitiva en esta tecnología. Por acoplarse perfectamente al sector Aeronáutico, el espacio, así como el sector de la salud, pero también en los sectores de bienes de lujo, automoción y energía.

Francia dispone de tecnologías de excelencia y competencias reales en toda la cadena de valor, end to end, desde el polvo hasta la producción de piezas terminadas de alto valor agregado, pasando por el diseño de piezas, máquinas y de la cadena digital.

- Activos académicos.
  - Los institutos Carnot del sector de Manufactura han establecido un primer mapeo de actores de I + D en *fabricación aditiva* en Francia. Este mapeo se actualizará periódicamente en el contexto de esta iniciativa identificando los laboratorios especializados cercanos a los temas planteados con aplicaciones concretas.
  - Competencias "movilizables" (modelación física, matemáticas aplicadas, ciencia de los materiales, fuentes de energía ...) de investigación básica, esenciales para el desarrollo de tecnología a menudo reconocida mundialmente en sus dominios.

21. Fabrica.indd 479 12/17/19 16:44

- Activos industriales (lista no exhaustiva)
  - Actores reconocidos a escala industrial (Eramet, Constellium, Safran, Fives
  - Michelin – Addup Solutions, Prodways, BeAM, ESI Group, Dassault Systèmes...).
  - Un ecosistema de pymes innovadoras (Sculpteo, Avenao, Polyshape, Fusia, Prismad, Volum-e, ... dinámico y creativo (impresión, digital ...)

Estos activos, si se valoran adecuadamente, dan la oportunidad de:

- Reubicar algunas producciones acortando la cadena de suministro e integrando más funciones e inteligencia en piezas únicas;
- Posicionarse en los mercados del futuro.

IDENTIFICAR PRIORIDADES Y SABER EVOLUCIONARLA

Un análisis inicial de las preocupaciones de los industriales reveló prioridades que deben guiar la dirección de los esfuerzos de los diferentes actores de este ecosistema. Un segundo ciclo de análisis, más específico, extendido a las Pymes aclarará esta lectura.

Prioridad por familia de material:

Polímeros

Búsqueda de materiales orientados por sus rendimientos mecánicos, resistencia a los UV. Hacer piezas y prestar servicios puntuales: prototipado, Fablab.

Metal

- Titanio: limpieza, reciclaje
- Aluminio: costos (materia prima y amortización maquina)
- Aceros: esperan cruzar el punto de inflexión (volúmenes) empezando por los herramentales.
- Cobre (automotriz, energía): limitado por la conductibilidad, existe una necesidad para una acción de fondo.
- En la aeronáutica: titanio, aluminio, Inconel

Cerámica

Para aplicación en el medical

21. Fabrica.indd 480 12/17/19 16:44

Por tecnologías

Polímeros
- Prioridad 1: FDM
- Prioridad 2: SLS

Metal
- Prioridad 1: SLM
- Prioridad 2: EBM, CLAD

Tecnologías emergentes
- Ejemplo: hilo, impresión Hibrida– mecanizado

Por etapas de le cadena de valor agregado

– Investigación de la dimensión económica: la reducción del nivel de competitividad es la puerta de entrada al desarrollo de los volúmenes, para acelerar el despliegue de la *fabricación aditiva*.
– Proceso de interacción / Material
– Control

En diseño: diseño de piezas.

– Idéntico: tiene poco interés excepto en prototipos y demostradores.
– Funcionalmente optimizado (producto y material) basado en geometrías existentes: el mejor compromiso entre apuesta y accesibilidad.
– Totalmente rediseñado: implica un gran esfuerzo de entrenamiento y conducción del cambio para explorar la creatividad del diseño fuera de los espacios tradicionales de restricciones relacionadas con los métodos convencionales.

III. HACIA EL FUTURO I + D: INVESTIGACIÓN DE RENDIMIENTO Y COMPETITIVIDAD

La iniciativa apunta por una sobreinversión en el futuro. Esta recomendación es relacionada con dos hechos específicos de la *Fabricación Aditiva*: la emergencia de nuevas cadenas de valor, especialmente entre diferentes sectores que conducen a nuevos modelos económicos, potencialmente muy disruptivos.

21. Fabrica.indd 481 12/17/19 16:44

ENFOCANDO LA AYUDA DE I + D EN LAS PRIORIDADES A CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO

La necesidad de avanzar en la comprensión sustantiva para preparar la productividad y el desempeño de mañana y las escalas de tiempo requeridas por los desafíos científicos en una configuración donde la interdisciplinariedad es esencial y hace necesario agrupar riesgos y una perspectiva evolutiva plurianual.

Francia utiliza su conocimiento "ascendente", que es uno de sus principales activos,

- Confiando en una red de laboratorios de excelencia en los diversos "dominios físicos ".
- Cooperando entre sí, en toda la cadena de valor.
- Controlando y articulando redundancias horizontales (laboratorios que trabajan en mismos temas) y verticales (en la cadena de valor)
  - Dedicando un presupuesto.
  - Durante un período de 3 a 5 años, actualizando anualmente.
- Para objetivos explícitos, alineados con las prioridades metales, prioridades de polímeros, teniendo en cuenta los programas existentes y el estado del arte.
- Para proyectos colaborativos cuyos resultados estén abiertos a miembros del sector francés, incluidas las pymes.

FAVORECER LA OPTIMIZACIÓN DE LOS MEDIOS Y COMPARTIR LOS PROYECTOS APLICATIVOS

La agrupación y el intercambio – el Pooling and sharing - son ante todo una respuesta a la energización de los presupuestos de I + D. También tiene un objetivo de consolidación industrial a nivel nacional y, por lo tanto, posicionarse en el mejor de los casos en la competición internacional.

Se deben realizar cuatro acciones para promover la optimización en el campo de la investigación tecnológica en el contexto de la *fabricación aditiva*. No son exclusivos de la *Fabricación aditiva*, pero esta área puede ser piloto y deberá ser ejemplar:

- Identificar en los programas actuales lo que se puede compartir, con respeto de las reglas de propiedad intelectual.
- Explicar pautas de propiedad industrial / intelectual que fomenten el Intercambio y la difusión de conocimientos, teniendo en cuenta la interdisciplinariedad y el nivel íntimo de cooperación entre el mundo académico y la industria.

21. Fabrica.indd 482 12/17/19 16:44

- Fomentar la detección y facilitación con los clústeres, sinergias entre proyectos candidatos.
- Crear un sistema de referencia metodológico común para que los programas / estudios que Inician puedan generar datos que serán posteriormente compartidos / comparados / agregados (coherencia).

HABILIDADES DE ORIENTACIÓN GUIANDO LOS RECURSOS PÚBLICOS HACIA LAS PRIORIDADES RECONOCIDAS

Los actuales actores industriales y académicos franceses de la *fabricación aditiva* han fijado los objetivos técnicos para permitir que este sector se diferencie de sus competidores internacionales. Estas orientaciones son las siguientes:

- Enfocar los recursos públicos y privados en las prioridades reconocidas y guiar las competencias
  – Reducción del costo de obtención de los materiales básicos (polvos, hilos) de las tecnologías prioritarias, incluido el reciclaje en "bucle corto" (la capacidad del material a ser reutilizado en polvo)
    – Para cada clase de materiales (metal, polímero, cerámica).
- Comprensión, simulación y control de una interacción material-energía. eficaz en las tecnologías prioritarias para garantizar una productividad maximizada
  - Diseño y desarrollo de aplicaciones.

– Integración y aceleración de cálculos (especialmente para la transición de fuera de línea a tiempo real)
  – Desarrollo de máquinas competitivas y abiertas.
– Estandarización de metodologías de recolección de datos y creación de bibliotecas abiertas
  – Instrumentación y control (ex situ e in situ).

... dando prioridad a los materiales conocidos en respuesta a las necesidades industriales identificadas. Especificar los límites de los materiales existentes para precisar las brechas y especificaciones de los nuevos materiales, aún no disponibles en la *fabricación aditiva*, serán una base sólida. En segundo lugar, desarrollar materiales que se beneficien plenamente de características de la *fabricación aditiva.*

21. Fabrica.indd 483 12/17/19 16:44

- Orientar las competencias con las prioridades

El análisis del sector manufacturero de los institutos Carnot, tiene como objetivo identificar las competencias existentes en Francia. Se realizó y publicó un primer análisis que muestra el interés y la viabilidad del enfoque de confrontación con las prioridades reconocidas. Un análisis más fino, más específico en el tipo de habilidades y más amplio en identificación de las competencias útiles (llamadas habilidades "movilizables") incluso si no están dedicadas a la *fabricación aditiva*, se lanzó, en sincronización con el análisis, también mejores de las necesidades y de las prioridades. Este análisis se actualizará con regularidad. Un trabajo de perspectiva de estas competencias en el panorama mundial debe también ser conducido y mantenido.

COORDINAR Y DIFUNDIR UNA POSTURA COMÚN DE REFERENCIA

La supervisión es un problema importante para este negocio en rápida evolución. Coordinar y difundir una postura común de vigilancia es un factor de lucidez y dinamismo del sector.

- La agitación global hace que sea difícil extraer y evaluar información útil, incluso para las grandes empresas, la tarea de vigilancia es muy incómoda e incierta.
- Los centros académicos y de negocios hacen vigilancias dirigidas, limitadas por sus medios y la coherencia global necesita ser organizada.
  - Las pymes están sujetas a iluminaciones ad hoc, a menudo parciales y diferidas.
- Los medios modernos permiten publicar una base común de vigilancia homogénea, confiable y actualizada regularmente.

A partir de la financiación de una base inicial, se trata de animar los medios existentes para hacer emerger una posición común de vigilancia, y no de establecer los medios / recursos pesados o nuevos

Iniciativa 1: Organizar financiamiento plurianual público / privado de la Investigación de las prioridades seleccionadas

Iniciativa 2: Orientar ayudas públicas en proyectos de aplicación.

- Alineado con las prioridades.
- Quienes abren sus resultados a la comunidad.

Iniciativa 3: Promover sinergias, en colaboración con los principales centros nacionales, las sinergias (los proyectos existentes) y puesta en común (para proyectos futuros). Establecimiento de una coordinación de las plataformas

21. Fabrica.indd 484 12/17/19 16:44

Iniciativa 4: establecer una red de centros de monitoreo (públicos y privados que lo deseen) para redactar y publicar las síntesis primero trimestralmente y luego en forma interactiva a implementar.

IV. JUNTAR LA OFERTA CON LA DEMANDA

EXPLORAR LA DEMANDA COMO CLÚSTER

La demanda es incipiente; es necesario explorarla de forma organizada, por los clústeres (agrupaciones por cadena de valor y / o sector y / o comercio) y por horizonte, bajo la coordinación de la AIF. La *fabricación aditiva* no pretende sustituir al conjunto de las tecnologías existentes. Por lo tanto, este análisis debe revelar las aplicaciones y los usos accesibles, con qué prioridades, a qué horizontes y en qué condiciones técnicas y económicas (tecnologías, materiales ...). Este enfoque por usos accesibles a través de los horizontes serán un punto de estructuración para proyectos y demostradores compartidos intra e inter-clústeres. En particular en los siguientes sectores:

Aeronáutico.

La federación de las industrias francesas aeronáuticas y del espacio (GIFAS) ha creado un grupo dedicado a la fabricación aditiva por una duración inicial de dos años cuya misión está orientada a la cadena de suministro. El grupo se estructuró en 5 lotes relacionados con tecnologías (polímeros, metales.), cadena de suministro, diseño y certificación Los gestores de lotes organizan reuniones que ayudaron a crear una dinámica en torno a especificaciones y datos, pero también una capacidad para el diálogo con las autoridades para aspectos de certificación.

Automotriz

El análisis potencial de la *fabricación aditiva* para el sector automotriz permitió

- Identificar, seleccionar y especificar proyectos concretos específicos al sector automotriz.
  - Tres proyectos demostradores a corto plazo (2017)
  - Un análisis de la cadena de valor (2017).
- La búsqueda de una optimización de estrategias de "compra" (2018 - 2020)
- Un proyecto de desarrollo de funciones en tecnología de hilo fundido de polímero (FDM) (2018-2020)

21. Fabrica.indd 485 12/17/19 16:44

- Un estudio de optimización de aceros para herramientas (2018 - 2020).

– Destacar el interés del automóvil por 4 pistas desarrolladas por la AIF (Bases de datos, agrupación de estudios, mapeo de proveedores, HSE)

Energía

Las necesidades identificadas son el desarrollo de materiales y procesos para las funciones de conducción eléctrica y térmica.

Los metales no ferrosos, incluido el cobre, son hasta ahora muy poco procesados por *fabricación aditiva*

Asociado a las nuevas posibilidades de diseño, al desarrollo de soluciones técnicas aumentará el rendimiento del equipo y por lo tanto reducirá las pérdidas de energía y del impacto ambiental

Moldeo / inyección

Las tecnologías de *fabricación aditiva* se han utilizado durante 7 años para la fabricación de estampados de moldes en plásticos. Sin embargo, esta tecnología no tiene todavía alcanzada, la madurez y sigue innovando y presentando nuevos retos (tiempo de ciclo, acabado, ...) para mejorar el rendimiento industrial francés.

En todos los sectores, las herramientas son, con su ecuación particular de costo / valor, una de las prioridades de desarrollo, con tecnologías dependientes esencialmente del tamaño de serie previsto.

Médico

Esta línea de negocio está sujeta a fuertes procesos de calificación y aprobaciones antes de acceso al mercado (marcado CE, 510k FDA), pero personalización, respaldado por las tecnologías digitales, es un factor de competitividad y flexibilidad para los fabricantes de los implantes.

La *fabricación aditiva* para dispositivos médicos se centra en la producción de prótesis u ortesis. Permite asegurar las técnicas de operación, dando acceso a prácticas de cuidado mejores y más rentables (personalización de prótesis, reducción de tiempo de operación, mejora de exactitud de los procedimientos quirúrgicos, reducción de las intervenciones).

La oferta, técnicamente incierta, es poco conocida. Debe hacerse visible y adaptarse a las necesidades. Esta visibilidad y difusión pasan por:

21. Fabrica.indd 486 12/17/19 16:44

Agrupar la acción de proveedores:

– Inicializar y mantener un mapeo de proveedores franceses (materiales, máquinas, software, control).
– Promover máquinas "abiertas" mientras se controla la calidad y la portabilidad (máquinas, polvos y software)
  • Promover la tecnología a través de acciones específicas (pedagogía, visibilidad ...).
  • Sistematizar el acceso de las PYMES a una red estructurada de plataformas de transferencia a los métodos homogéneos impulsados por la AIF.
  • Capitalizar y difundir, bajo la guía del GT de "Materiales y Procesos, una guía para el diseño de piezas realizadas en Fabricación Aditiva por tipo de procesos / materiales y según las actuaciones requeridas.

Promover el diálogo técnico entre proveedores y la demanda

Para facilitar la generalización del uso de la *fabricación aditiva*, las oficinas de diseño y sus clientes necesitan bases de datos calificadas (estado del arte) y bases de datos compartidas (clientes / usuarios / productores) en los cuales confiar en su enfoque.

Por tanto, es necesario definir un sistema de referencia común donde

• Los materiales pueden ser identificados
• Sus propiedades están definidas por la tecnología según un procedimiento. (Parámetros de proceso) dados, así como sus recomendaciones de uso
• Requisitos mínimos en cuanto a propiedades físicas y mecánicas.

En la confluencia de necesidades y de la oferta, se creó una biblioteca pública "Materiales / parámetros / casos de uso", permitiendo, a partir del análisis de necesidades funcionales de la pieza realizada:

• Consultar casos de uso típicos que muestren:
– El valor del uso de Fabricación Aditiva.
  • Las propiedades geométricas, físicas y mecánicas conseguidas.
  – Los detalles de las gamas de fabricación y postproceso.
  – Las reglas de diseño seguidas.
  – El costo que detalla la parte material / proceso / post-tratamiento.
• Estar orientado en ayudar a elegir la tecnología a utilizar (procesos y publicación tratamiento a aplicar)
  – Ser orientado en la formulación de los términos de referencia.

21. Fabrica.indd 487 12/17/19 16:44

– Rechazar, eventualmente, "gráficos" y documentos de referencia que permitan optimizar la elección de propiedades buscadas / Post tratamiento adaptado.

Este enfoque debe fomentar la alimentación de esta biblioteca por los resultados públicos (de laboratorio) y privados (industriales).

Una tal base de datos requiere un trabajo de caracterización coordinado y compartido importante.

El aspecto digital y sus límites (viabilidad técnica, ergonomía y velocidades de cálculo) son muy estructurados sobre lo que puede ser popularizado o tratado en tiempo real. Los esfuerzos deben orientarse en:

- Desarrollo de metodologías analíticas para capitalizar en la guía de diseño
- Aceleración de cálculos.
- Continuidad digital, desarrollo de interfaces amigables.
- Soporte de diseño (CAD / CAM), acoplamiento topológico de optimización / predicción de Desempeño / calificación contra estándares
- Predicción / optimización de costes.
- Predicción de propiedades obtenidas después de tratamientos y tratamientos térmicos

En general, un proceso de homogeneización, hecho por el GT transversal de la "estructuración de las bases de datos" debe llevarse a cabo y mantenerse para promover la estandarización de los datos, poder compilarlos y ponerlos a disposición de la comunidad.

DESARROLLAR LA OFERTA DE LAS PYMES

La divulgación de tecnología con las Pymes para desarrollar su oferta implica identificar las que se beneficiaran por esta tecnología.

- En el caso del metal:
  - Aparte de la creación de prototipos y pequeñas series especializadas en nichos, el metal implica, para el paso a escala industrial, altos costos fijos a la entrada. Los Ingresos, por lo tanto, requiere un tamaño adaptado a los mercados objetivo para cumplir con estas especificidades (ramp-up, punto de inflexión...) y porque facilita el acceso a la Integración en la cadena de valor.
  - Para esto, es necesario evitar el polvoreo en las Pymes "aisladas", que estarán en riesgo (de efectivo, recursos materiales y humanos) durante la transición a escala industrial, todavía tartamudeando.
  - En este contexto, será necesario.

21. Fabrica.indd 488 12/17/19 16:44

- La adopción de la tecnología de *fabricación aditiva* de metales por parte de las Pymes, su tamaño y su visión estratégica permiten el paso a la escala industrial.
- Alineación (capitalista o no) en cadenas de valor (incluyendo regionalmente; desarrollo de una oferta completa (dominio de toda la cadena de valor)
- En el caso del polímero.
  - El mercado de subcontratación está muy desarrollado (la mayoría de las pequeñas empresas / subcontratistas de PYME) en 2/3 de la industria del automóvil, por ejemplo). Por lo tanto, los participantes necesitan:
- Formación para la integración de esta nueva tecnología.
- Apoyo para apoyar las inversiones necesarias hasta la calificación y apropiación de esta tecnología.
  - En este contexto, será necesario favorecer:
- La adopción de la tecnología de fabricación aditiva de polímeros por parte de las Pymes cuyos negocios y mercados se encuentran en los sectores clave afectados por la *fabricación Aditiva*
- Alineación (capitalista o no) en las cadenas de valor: Desarrollo de una oferta completa (incluida regionalmente). Esta alineación es hoy insuficiente para perpetuar sus modelos de negocio.

Evaluar / apoyar proyectos de desarrollo de tecnología de PYMES sobre la base de sus recursos tecnológicos, económicos, de accesibilidad, materiales y humanos; y contribuir a asegurar su compromiso (inversión o subcontratación que pueda estar en alto riesgo financiero).

APOYAR LA ACCIÓN DE LAS REGIONES EN ACOMPAÑAR LOS PROYECTOS PYMES "*FABRICACIÓN ADITIVA*"

El desarrollo del sector de la *Fabricación Aditiva* en Francia requiere de un acompañamiento de las Pymes.

Para las Pymes, la decisión de integrar la *Fabricación aditiva* es un tema delicado. Se trata a la vez

- De aprovechar las oportunidades que ofrece esta nueva tecnología (nuevos productos, nuevos usos, nuevos mercados, nuevas relaciones con los clientes, rango en cadenas de valor, ...)
- Al asegurar el proceso de toma de decisiones y, cuando corresponda, la integración y adaptar tecnología internamente o mediante alianzas con socios. externos

Se desarrolló y se probó un diagnóstico piloto en varias regiones. Adaptado a la situación de cada empresa, debe permitirle detectar las oportunidades para

21. Fabrica.indd 489 12/17/19 16:44

integrar esta tecnología para sus propios productos o para ampliar su oferta tecnología para la realización de las piezas de sus clientes. También debe permitirle Identificar sus fortalezas y debilidades. Este diagnóstico:

- Es de amplio espectro. Más allá de la dimensión tecnológica, integra el posicionamiento del modelo de negocio de la empresa, su modelo de negocio, la cadena digital, la capacidad de apropiación e integración de tecnología (incluyendo habilidades), ...
- Se basa en partes interesadas capacitadas y entrenadas (implementación del esquema bajo seguro de calidad) y capaces de interpretar y asesorar, superando los simples "cuestionario / auditoria"
- Analiza la oportunidad para que la empresa vaya a la Fabricación Aditiva (solo y / o en colaboración con otros)
- Proporciona una recomendación de ruta para la empresa.

Su implementación debe ser coordinada por el AIF y pasa necesariamente por las regiones y la aceleración de este despliegue requiere soporte coordinado de nación / regiones.

– Iniciativa 1: Promover la exploración de potencialidades por clúster industrial.
– Iniciativa 2: Crear bibliotecas de materiales / Parámetros / Casos de uso
– Iniciativa 3: Apoyar la cooperación nacional-regional para la coherencia de desarrollo de tecnología pyme.
– Iniciativa 4: Organizar el apoyo para el uso y la difusión de proyectos con PYMES alineadas con los criterios seleccionados (capacidad para ampliar a la escala industrial y alinearse con la cadena de valor)

V. FOMENTAR UN SECTOR INDUSTRIAL EMERGENTE

CREAR Y DIFUNDIR

Formación y competencias

El papel de la formación es más central en la propiedad de los actores que en el desarrollo mismo de la *fabricación aditiva*, sus perspectivas son evolutivas.

Un grupo central de más de 40 expertos industriales y académicos, agrupando las diferentes Iniciativas lanzadas en Francia, se ha fijado el objetivo de hacer de la formación en *fabricación aditiva* un activo para Francia. Esta iniciativa tiene como objetivo:

- Establecer una encuesta de alrededor de 50 empresas de todos los sectores involucrados en la fabricación aditiva:
  – Actividades específicas e identificación de competencias para asociar a cada actividad.

21. Fabrica.indd 490 12/17/19 16:44

  - Nivel de entrenamiento con el que se deben combinar las actividades y las competencias.
  - Las dos competencias clave que se esperan son el diseño y la creación de prototipos.
- Desarrollar formaciones de referencia (formación inicial y continua) en *fabricación aditiva:*
  - Establecimiento de un pliego técnico nacional de Actividades / competencias en la fabricación aditiva (iniciativa de la federación de plásticos y compuestos, publicación)
  - Comunicación con los "vectores" de la formación (profesores, etc.).
  - Certificación de la formación dedicada a la fabricación aditiva,
  - Identificación de pasarelas empresariales.
- Mapear las habilidades de entrenamiento existentes en fabricación aditiva (identificación de proveedores)
  - Reunir diferentes programas de apoyo a la formación en la fabricación aditiva
- 1ª etapa: enlaces, intercambios de buenas prácticas y frenos encontrados, identificación de brechas
- 2ª etapa: implementación en todas las regiones (consolidar la herramienta acompañando)

Normalización

La estandarización debe permitir difundir la tecnología, promover la innovación, mejorar la interoperabilidad de los sistemas y reducir los costos de adquisición de nuevas tecnologías, especialmente para las pymes.

Debemos contribuir activamente a la construcción europea y mundial para garantizar que las reglas que se crean son compatibles con los intereses de nuestra industria nacional.

Medio ambiente, seguridad y salud

El control de riesgos industriales en general incluye una anticipación de los problemas de Higiene, Seguridad y Medio Ambiente (HSE).

En el caso de la *fabricación aditiva*, la preocupación de HSE es un problema central por:

- Mal manejo, puede exponer a individuos e indirectamente crear una barrera de rechazo técnico y mediático.
- Restricción excesiva, puede crear una carga contra productiva.

21. Fabrica.indd 491 12/17/19 16:44

Las máquinas de *fabricación aditiva* son al nivel de higiene y seguridad en la Unión Europea, el respeto, desde su concepción, de diferentes Requisitos Esenciales de Seguridad que cubren, en particular, los riesgos de exposición mecánicos, eléctricos, a sustancias (polvo, gas ...) o explosiones; Y esto en las diferentes fases de uso de la máquina (producción, limpieza, mantenimiento...).

Coordinar la emergencia y la puesta en red de proyectos y plataformas

Agrupando los actores de la *fabricación aditiva*, la AIF tiene como vocación el diálogo y la coordinación de métodos en dos ejes complementarios, que los actores individuales no pueden llenar:

– Consistencia del alcance y objetivos de los proyectos de I + D:

Más allá del trabajo de investigación de sinergia y el intercambio de programas existentes, mencionado anteriormente, una estructura de animación debe permitir el diseño y estructuración de proyectos,

– Evaluar la alineación de sus objetivos con las prioridades nacionales.
– Situar sus intenciones de proyecto en el contexto global.
– Identificar intenciones relacionadas con proyectos y fomentar mutualizaciones.
– Coordinación de plataformas (instrumento para la agrupación de recursos y de habilidades). Más allá de la realización del programa de I + D, también deben ser un medio para llevar a cabo las acciones transversales descritas en esta hoja de ruta.
– Dominio de redundancias (horizontal entre laboratorios emulando las mismas habilidades y vertical entre laboratorios complementarios en la cadena de valor). En enlace con regiones, Institutos Carnot, los Centros Técnicos Industriales, la red de laboratorios.

• Facilitar la racionalización de la red de plataformas, su ubicación.
• Hacer visible la cartografía nacional
• Ayudar a asegurar una alineación adecuada entre la gobernanza de los IRT involucrados en la fabricación aditiva y prioridades nacionales.

– Establecimiento de estándares homogéneos de gestión de emergencias y plataformas físicas.
– Acceso de las plataformas de transferencia al mejor conocimiento, francés o extranjeros
– Calidad y rapidez de las formaciones soportadas y transferidas a su tejido industrial y académico

21. Fabrica.indd 492 12/17/19 16:44

La ciberseguridad y la industria*

SUMARIO

I. Introducción II. Definiciones, desafíos y acciones
III. Los seis desafíos

I. INTRODUCCIÓN

La transformación digital modifica profundamente los sistemas industriales con el crecimiento de las comunicaciones (presencia de sensores generadores de datos, comunicaciones dentro y fuera de la empresa, etc.) requiere la fuerte necesidad de estructurar la *ciberseguridad*.

Promover una mayor continuidad digital, con un buen conocimiento y prevención de los riesgos es indispensable ya que la conectividad de los equipos es cada vez más importante y permite ahora una mayor apertura de esos ataques.

La mediatización de los ataques cibernéticos de todo tipo debe considerarse como una oportunidad de mejorar la conciencia, la formación y el entrenamiento de los líderes, técnicos a los riesgos incurridos por sus equipos y, especialmente, a capacitarlos en las herramientas y reflejos que se deben de adoptar en la construcción de la arquitectura de su sistema productivo.

Se requiere proporcionar a las Pymes, los medios y las competencias para aumentar su competitividad, participar en la estandarización, vincular la investigación científica con la industria, promover el desarrollo de tecnologías, ayudar a

* La presente investigación auspiciada por el Gobierno francés, se incluye en este libro bajo la autorización del Señor Alfred Rodríguez, Embajador en México de la Alliance Industrie du Futur y Presidente de la comisión de innovación y tecnología para la competitividad, Confederación de Cámaras Industriales de los Estados Unidos Mexicanos (CONCAMIN).

22. Ciberseguridad.indd 493 12/17/19 16:45

mejorar el rendimiento y garantizar la calidad. Participar activamente en el desarrollo de una industria moderna, innovadora y orientada al futuro.

En este movimiento de innovación, las industrias están integrando tecnologías cada vez más digitales (internet de las cosas, interconexión de sistemas industriales, outsourcing de datos a través de la nube...) y el desafío de la seguridad se está convirtiendo en una fuerte preocupación para las empresas. Los sistemas desconectados ahora son blancos (una simple memoria USB puede inocular un virus) y ciertos sistemas industriales que han existido durante varios años son vulnerables porque desarrollados sin integrar conceptos de seguridad. Por lo tanto, la *ciberseguridad* debe seguir siendo parte de la cultura industrial y en la de los colaboradores, en particular cualquiera que sea su función en la empresa. Sabemos hoy por experiencia que el 80% de los ataques se pueden evitar cuando una empresa ha establecido acciones simples, y la mayoría de estas medidas no requieren implementación por parte de expertos en sistemas de información.

A través de este documento se intentará orientar sobre:

- Medir los riesgos para la empresa e identificar las vulnerabilidades específicas
- Moverse en un marco de ciberseguridad
- Familiarizarse con el lenguaje de la *Ciberseguridad*
- Facilitar el diálogo con los proveedores de los servicios de ciberseguridad

De igual modo que identificar seis temas relacionados con la seguridad digital:

1. **Concientizar, formar y guiar los colaboradores**
2. **Garantizar el funcionamiento del taller/ herramienta de producción**
3. **Proteger los datos empresariales, el patrimonio inmaterial**
4. **Asegurar la relación con los proveedores y subcontratistas**
5. **Asegurar la relación con los clientes**
6. **Proporcionar productos conectados y / o servicios asociados seguros**

II. DEFINICIONES, DESAFÍOS Y ACCIONES

¿QUÉ ES LA CIBERSEGURIDAD PARA UNA INDUSTRIA?

La ***ciberseguridad*** consiste en garantizar que los recursos digitales de una empresa, que sean materiales (ej.: chip, calculadora, PC, robot, máquina CNC...), software (por ejemplo, programas y datos), o de comunicaciones (por ejemplo, wifi, Internet) estén protegidos de todos los ataques que los distraerían de su operación originalmente planeado.

22. Ciberseguridad.indd 494 12/17/19 16:45

Su objetivo es conseguir por medio de herramientas, servicios y datos:

– **La Disponibilidad** (por ejemplo, el operador tiene acceso a su máquina cuando la necesita, incluso cuando su funcionamiento y / o las condiciones de uso están degradadas.
– **La integridad**, es decir **la conformidad** de las características con lo esperado (Ej.: la máquina realiza la acción solicitada y solo esa)
– **La Confidencialidad de acceso** (ej.: en todas circunstancias, los datos del cliente se mantienen confidenciales)

El Respeto de estos tres elementos aumenta el nivel de seguridad de los empleados / socios / clientes / herramientas / medios de producción y optimiza el buen funcionamiento de la empresa.

La *ciberseguridad* se integra en una reflexión más global de la empresa, y se centra en:

– **Los Sistemas industriales** (talleres, máquinas, plataformas, SCADA...)
– **Los Sistemas de información** (software, servidores, comunicaciones.)
– **Los Productos y servicios** ofrecidos a los clientes

Las interfaces digitales necesarias para la comunicación entre estos diferentes sistemas constitutivos de las empresas son riesgos adicionales.

Cuando las empresas digitalizan sus procesos aumentan los riesgos por lo que la digitalización y la conexión de las industrias requieren de más acciones específicas de *ciberseguridad*.

En el tema de la *ciberseguridad* conviene distinguir los conceptos de:

• **Vulnerabilidad**: debilidad a nivel de un elemento de un sistema industrial o de información. La vulnerabilidad puede afectar el diseño, la realización, la instalación, la configuración y el uso. (ej.: maquina no protegida por contraseña, obsolescencia de sistemas)
• **Riesgo**: posibilidad de una vulnerabilidad conduce a daños en el funcionamiento de la empresa, (por ejemplo, un asaltante (amenaza) utiliza un canal desprotegido (vulnerabilidad) y toma el control de forma remota modificando las instrucciones de funcionamiento)
• **Amenaza**: Causa potencial de un incidente con malos propósitos
• **Ataque**: realización de una amenaza, que requiere aprovecharse de una vulnerabilidad.

22. Ciberseguridad.indd 495 12/17/19 16:45

III. LOS SEIS DESAFÍOS

CIBERSEGURIDAD PARA LAS PYMES

Adelantar los temas de la *ciberseguridad* en una empresa es un enfoque necesario, relacionado con el completo funcionamiento de la empresa y de su ecosistema. No se pueden separar los temas. Para lograr esto se requiere centrarse en los siguientes seis desafíos:

1er DESAFÍO: concientizar, formar y guiar a los colaboradores

El factor humano es el origen esencial del riesgo de ***ciberseguridad.*** Las amenazas dependen de los comportamientos individuales (uso de memoria USB, enlaces de internet y / apertura de correos electrónicos de fuentes desconocidas...) a diferencia de las fallas de software que permiten instalar programas maliciosos para: robar información confidencial, transferir fondos... Los riesgos de ser víctima de mensajes maliciosos son los que imitan los mensajes auténticos

La falta de conocimiento por parte de los empleados de las buenas prácticas y "reglas de seguridad informática" es el origen de muchos incidentes. **La vigilancia y la sensibilización permanente del personal a ciertas reglas básicas. son por lo tanto indispensables.** Puede ser complementado por formaciones e instalación de herramientas de asistencia para crear buenas practicas

Este riesgo aumenta con la generalización de las herramientas nómadas. Los límites entre los espacios personales y profesionales son cada vez menos marcados, aumentando en gran medida las vulnerabilidades. Aun utilizados en un entorno estrictamente profesional, estas herramientas generan nuevas problemáticas de seguridad y por lo tanto requieren medidas apropiadas.

Del mismo modo, las redes sociales y los correos son ahora ampliamente utilizados en un entorno industrial. Con internet, estos medios de comunicación exponen a las empresas, a varios tipos de ataques informáticos cuya pluralidad y complejidad siguen creciendo.

El riesgo asumido por el factor humano es de todos los empleados de la empresa (informáticos, especialistas en automatización, personal administrativo, personal del taller...) por lo tanto, es necesario adaptar su sensibilización y formación a los diferentes oficios de la empresa y hacerlos trabajar juntos.

Los aspectos digitales son preponderantes, pero la digitalización y la conectividad de las máquinas crean nuevos peligros con los cuales hay que cuidarse.

Muchos de los incidentes de seguridad cibernética provienen de la ignorancia. Su sensibilización de las buenas prácticas contribuirá a la reducción de vulnerabilidades y oportunidades de ataques.

22. Ciberseguridad.indd 496 12/17/19 16:45

Como los riesgos evolucionan constantemente, esta conciencia debe ser regulada.

Vulnerabilidades y riesgos asociados

La gama de servicios en línea que una Pyme necesita es muy amplia. Es posible de manera simplificada agruparlos de la siguiente manera:

- Falta de formación y / o información.
- Solicitud de rescate
- Robo de identidad (Fraude al presidente)
- Propagación de virus (o gusanos)
- Denegación de servicio (o gusano)
- Parálisis de todo o parte de la herramienta de producción
- Mala Comercialización de productos defectuosos
- Mala comunicación entre contribuyentes
- La falta de actualización de un antivirus crea una vulnerabilidad haciendo correr una multitud de riesgos potenciales.

2DO DESAFÍO: GARANTIZAR EL FUNCIONAMIENTO DEL TALLER Y DE LA HERRAMIENTA DE PRODUCCIÓN.

La transformación digital del taller y de su herramienta de producción (IOT, Nube, máquinas inteligentes, comunicaciones M2M, robots...) son fuentes de riesgos cibernéticos porque crean nuevas vulnerabilidades y nuevas amenazas, incluso los talleres no conectados a internet están expuestos a amenazas digitales (por ejemplo, una USB contaminada a un equipo de producción, para su mantenimiento o una transferencia de datos).

En cuanto a las industrias que inician la modernización de sus equipos por la integración de herramientas digitalizadas (por ejemplo, modernización de máquinas con integración digital), son sin duda las más vulnerables como usuarios de sistemas y medios desarrollados sin integrar el concepto de seguridad.

La necesidad de tener una trazabilidad de datos, incluidos los datos de producción, implica una estrategia segura de conservación y de procesamiento de estas informaciones. El "dato" es hoy uno de los temas principales de ataques cibernéticos.

Finalmente, el uso generalizado de software (ERP, CAD, automatización de oficinas) requiere crear **un enfoque de gestión** (selección, actualización, configuración) formalizada de acuerdo con la política de seguridad.

22. Ciberseguridad.indd 497 12/17/19 16:45

Asegurar el acceso físico no es suficiente en protegerse contra los riesgos digitales en la industria y viceversa.

Un taller de producción dispone de una multitud de medios de transformación, de manipulación y periféricos. Estas máquinas son cada vez más:

- controladas digitalmente (Ej: Programación por interfaces hombre/ máquina)
- instrumentadas (Ej: sensores para medir y recolectar datos con fines de mantenimiento predictivo)
- conectadas a través de cualquiera de las redes M2M (Máquina para Máquina) o por IOT.

Todas las máquinas y robots están directamente o indirectamente conectados a redes y en particular al internet. Estos equipos a menudo pueden recibir memorias USB o consolas de mantenimiento. Por eso es necesario proteger las máquinas. La seguridad de estas mismas no puede reducirse a los software y hardware para identificar y erradicar códigos maliciosos. Debe garantizar también la confiabilidad de la transferencia de información integrada entre los diferentes equipos.

Vulnerabilidades y riesgos asociados.

- **Para las características principales de primer nivel (sistemas de producción simples):** vulnerabilidades de los sensores, PLCs, escritorios, sistemas embebidos, analizadores. Los riesgos son de poder bloquear todo o parte de una máquina, para modificar su comportamiento modificando la información, etc.
- **Para las características del segundo nivel (sistemas de producción complejos):** vulnerabilidades de las estaciones de supervisión, servidores, bases de datos locales. Los riesgos más importantes son de perder toda la información relacionada a un grupo de máquinas, causando el cierre de la unidad de fabricación.
- **Para características de tercero nivel (sistemas de producción muy complejos):** vulnerabilidades de sistemas integradores de consolas de programación, estaciones de ingeniería conectadas permanentemente, sistemas conectados a otros dedicados a la ejecución de las producciones, bases de datos centralizados ... Los riesgos van desde el control remoto por un tercero malicioso que podría llevar a la destrucción de parte del taller, a modificar la planificación de la producción, aceptar piezas no conformes hasta la pérdida completa de las bases de datos.

22. Ciberseguridad.indd 498 12/17/19 16:45

La vulnerabilidad de los componentes IOT puede ser provocada por algunos defectos clásicos de tipo:

- Actualizaciones no seguras
  - Descargar actualizaciones sin firma autentificada
- Uso de llaves predeterminadas
  - En protocolos de comunicación, mantenemos los valores por defecto conocidos por todos.
- No codificar las comunicaciones.
  - Los Proveedores de red de comunicación del internet de las cosas no ofrecen código en la oferta básica
- Almacenamiento de datos no asegurados
  - Muchos componentes retienen datos personales no proporcionados en la solicitud original

Los principales riesgos asociados son:

- Posibilidades de propagación de virus.
- Posibilidades de ataques distribuidos.
- Posibilidades de acceso remoto.
- Entrega de piezas no conformes.
- Un ataque serio de un taller de producción puede llevar al cierre de actividad y perjudicar la economía de la empresa y más ampliamente su ecosistema.
- Si el taller utiliza o produce sustancias nocivas para los hombres y el medio ambiente, las consecuencias sanitarias y ecológicas de un ataque pueden ser desastrosas

3ER DESAFÍO: PROTEGER LOS DATOS EMPRESARIALES, SU PATRIMONIO INMATERIAL.

Con la llegada de la desmaterialización, los know-how, los datos empresariales (datos de producción, datos sociales...), secretos industriales y experiencia empresarial se encuentran fuertemente expuestos a los ataques cibernéticos y a las negligencias. Es necesario preservar la naturaleza confidencial de estos datos sensibles que contribuyen al valor y la competitividad de una empresa.

La tendencia hacia el alojamiento compartido de datos y software en la nube ofrece nuevas oportunidades para las pymes. Las soluciones abiertas al público son soluciones de calidad (generalmente más seguras que los desarrollos "caseros") pero requieren de vigilancia. Conviene elegir el tipo de hospedaje teniendo en cuenta de su necesidad de disponibilidad, integridad y confidencialidad.

22. Ciberseguridad.indd 499 12/17/19 16:45

Salvaguarda y protección de los datos y softwares

Muchas informaciones están cada vez más disponibles en formato electrónico y contribuye en gran medida al valor de una empresa. Deben imperativamente ser guardadas y protegidas contra cualquier forma de pérdida o ataque, para conservar los datos de la empresa, su integridad y su confidencialidad. La copia de seguridad requiere precauciones especiales, por un lado, para no inducir fuga de información confidencial, por otro lado, para garantizar la disponibilidad de datos incluso en caso de falla, lo que implica un proceso de archivo frecuente y seguro.

Vulnerabilidades y riesgos asociados

- La falta de protección de datos tecnológicos (información sobre los productos, las condiciones de fabricación, los datos materiales, los resultados de control, etc.) pueden conducir a su desaparición y / o su piratería.
- Los Softwares y herramientas para crear o escanear documentos, si son pirateados, pueden corromper datos y / o ponerlos a disposición
- La falta de seguridad, no solo es con los datos y los archivos, sino también por el sistema de información constituyendo una vulnerabilidad significativa.
- La gestión de archivos requiere una organización adecuada dentro de la empresa. Debe permitir definir las personas autorizadas para la creación de documentos, sus modificaciones, su salvaguardia permanente, su restauración.
- La pérdida de datos o la piratería pueden llevar a la quiebra de la empresa.

Copia de seguridad y protección de datos y software

Recomendaciones, buenas prácticas

- Identificar los documentos a archivar y definir las condiciones de archivo según la naturaleza de estos documentos. En efecto, la naturaleza de los documentos determina el modo de archivo, que puede ser simple o legal con valor probatorio.
- Proteger los datos sensibles antes de archivar, con medios criptográficos para preservar su confidencialidad e integridad, y a personas autorizadas para gestionar el proceso de archivo y actualización
- Estudiar un proceso de archivo y restaurar los datos genera el establecimiento de un mapeo con los tipos de datos a archivar, la elección de software y las herramientas digitales para crear / escanear los documentos y la definición de seguridad del proceso de archivo /restauración

22. Ciberseguridad.indd 500 12/17/19 16:45

- La información debe ser guardada antes y después de cualquier cambio, incluyendo cuando hayan sido traído " en caliente"
- Probar regularmente el proceso de restaurar copias de seguridad. Puede, por ejemplo, ser probado en una muestra limitada pero representativa del sistema.
- Asegúrese de que las copias de seguridad sean desconectadas del sistema de información y tener varios soportes físicos de copia de seguridad.

Servicios online y cloud

El uso de servicios en línea (en la nube) consiste en operar de forma remota, generalmente a través de Internet, la funcionalidad de almacenamiento, de cálculo o servicio en general (correo, intercambio de documentos, gestión de proyectos). Se ha convertido en un lugar común en el ámbito personal y profesional. Estos servicios hacen pleno uso de los beneficios de la revolución digital (acceso a servicios para todos los que antes necesitaban una inversión). Constituyen una poderosa palanca de competitividad en costo y funcionalidades a menudo descuidadas. Sin embargo, se deben tomar algunas precauciones para explotar este potencial sin comprometer la seguridad de su instalación.

La participación de los servicios en línea se puede internalizar en servidores alojados y operados por la empresa o subcontratada a servidores propiedad y operados por otra compañía, depende de sus limitaciones y su propia estrategia.

Vulnerabilidades y riesgos asociados.

La gama de servicios en línea que una Pyme puede solicitar es muy importante. Es posible simplificarla para clasificarlos en dos categorías:

- Los Servicios en línea utilizados por la empresa sin enlace con sus equipos o su ecosistema cliente / proveedores (por ejemplo, correo profesional, sistema de gestión de proyectos, servicio de intercambio de documentos en línea)
- Los servicios en línea utilizados por su ecosistema (por ejemplo, servicio de copia de seguridad automático de los parámetros de una máquina herramienta en la nube propuesta por el fabricante de la máquina, la plataforma de intercambio de un cliente) que la empresa puede o debe usar.

Las principales vulnerabilidades son:

- En la forma en que se prestan los servicios alojados:

– Los servidores deben estar alojados y operados de acuerdo a las prácticas de seguridad compatibles con el servicio solicitado. Por lo tanto, es confiar a un

22. Ciberseguridad.indd 501 12/17/19 16:45

tercero cuyo corazón es su negocio, en lugar de querer interiorizar servidores en su negocio (mal desplegados / explotados, constituirían un factor de riesgo adicional. Generalmente los servicios en línea ofrecen una gama de certificaciones de su alojamiento (PCI-DSS, ISO / IEC 27001, SOC1-2...);

- En la forma en que los servicios son usados

– Los datos que pasarán por estos servicios, sobre todo si son alojados por un tercero, deben ser considerados según su confidencialidad (contractual o de otro tipo). Es para garantizar que el servicio en línea tenga las características o aprobaciones requeridas (por ejemplo, Opción de código del cliente, es decir antes que los datos se transfieren al servidor, o el derecho en alojar datos de un determinado tipo) para evitar riesgos de falsificación o la fuga de estos datos.
– El uso de estos servicios debe contar con un conjunto de buenas prácticas ineludibles en la ***ciberseguridad***, especialmente con la identificación (usa una cuenta única por función/ usuario, usar una contraseña diferente por un servicio online, y en su caso usar un administrador de passwords para superar la multiplicación de servicios en línea) limitar el riesgo de compromiso vinculado a autentificación de un servicio.

4TO DESAFÍO: ASEGURAR LA RELACIÓN CON LOS PROVEEDORES Y SUBCONTRATISTAS

El funcionamiento de una pyme requiere en la gran mayoría de los casos, del uso de proveedores y subcontratistas, con quienes se intercambian los datos digitales (planos, bibliotecas de datos, programas...) son una brecha en la cadena de confianza digital entre socios especialmente porque es difícil de conocer su verdadero nivel de ***ciberseguridad.*** De hecho, para un asaltante puede ser más fácil, lograr sus fines a través de los subcontratistas, potencialmente menos protegidos que la empresa.

Todos los datos y know-how de la empresa (programas, datos de máquina y/o productos, líneas de producción...) pueden ser:

- Utilizados / difundidos (competencia, ventas...)
- Modificados y / o destruidos.

Para mantener un nivel de seguridad informática, es necesario que una Pyme pueda garantizar que sus subcontratistas cumplen con los requisitos de ***ciberseguridad*** aceptables.

22. Ciberseguridad.indd 502 12/17/19 16:45

Asegurar los datos digitales con el exterior

Las preguntas para identificar los riesgos:

- ¿Cuál es el grado de confidencialidad de las Informaciones a transmitir al exterior??
– ¿Cuál medio se seleccionó para la transmisión de estos datos?
– ¿Cuál es el nivel de ***ciberseguridad***? ¿Son los datos codificados?
– ¿Cuál es el nivel de ***ciberseguridad*** del destinatario de los datos?
- ¿Cuál es la naturaleza del acceso remoto ofrecido para el mantenimiento remoto?
– Las máquinas de la empresa tienen conexión a internet y como la usan?
– ¿Se transmiten periódicamente los datos al exterior?
- ¿Cuáles servicios exteriores son utilizados por la empresa?
– ¿Traté recuperar mis datos?

Recomendaciones, buenas prácticas.

- Prohibir el acceso anónimo o genérico (acceso nominativo obligatorio) y proporcionar a los usuarios certificados (por ejemplo, tarjetas inteligentes)
- Codificar la información intercambiada (incluso por mensajería)
- Codificar medios de almacenamiento de los datos (discos duros, memorias USB...)
- Establecer una arquitectura integrando una red de búfer (DMZ-Zona desmilitarizada), es decir, una sub-red posicionándose entre la red interna de confianza y el internet público. Suele ser creado por un firewall
- Instalar una red privada virtual (VPN) permitiendo la protección de la red, de ser posible utilizando certificados en lugar de login / contraseña:
– Integradas como un servicio de firewall (IPSec) en caso de enlace permanente entre dos sitios
– Integradas en aplicaciones (TLS) mensajería (SMTPS, IMAPS) o navegación (HTTPS) para intercambios aplicativos
– Integradas en una terminal (SSH) para conexiones de modo mando (especialmente para máquinas)
- Poner en marcha mecanismos fuertes de autentificación y de recuperación de contraseña.
- Al comprar en línea, dar prioridad a plataformas seguras (https: /) y estar alerta a los mensajes de alerta de su navegador en cuanto a certificados de seguridad.

22. Ciberseguridad.indd 503 12/17/19 16:45

5TO DESAFÍO: ASEGURAR LA RELACIÓN CON LOS CLIENTES

La relación con los clientes incluye:

– Intercambios financieros desmaterializados
– La Autentificación del cliente y / o de un tercero de confianza
– La Gestión digital de los documentos contractuales
– Los Servicios de e-comercio electrónico (ej. catálogos y ventas online)

La desmaterialización de los pagos reduce los riesgos de error y simplifica los procedimientos de contabilidad: se ha vuelto inevitable. En este contexto, los intentos de los fraudes por "ingeniería social" se intensifican en las empresas. Por ejemplo, los empleados son contactados por un estafador pretendiendo ser uno de sus líderes jerárquico ("fraude al presidente"), fácilmente identificable gracias a las informaciones subidas por la propia empresa, y que solicita una orden de transferencia superior a los procedimientos habituales de verificación y de autorizaciones.

El uso al comercio en línea ya no es reservado para particulares. Las plataformas de venta de repuestos y equipos manufacturados gestionado por las empresas son de más y más común. Todas las informaciones contenidas en catálogos en línea pueden ser modificadas y / o desviadas.

Asegurar los documentos oficiales y compromisos contractuales

La desmaterialización de los contratos requiere medios adecuados de seguridad tales como firmas electrónicas legalmente válidas. Archivando los documentos financieros y contables desmaterializados también deben cumplir con los Normas vigentes

Vulnerabilidades y riesgos asociados.

- El uso de firmas electrónicas pueden revelarse peligroso.
- El valor de un contrato puede ser juzgado nulo si el contenido del documento digital no respeta el marco de regulación impuesto, con pérdidas económicas para la empresa
- La falta de formación de los empleados de las prácticas y reglas del archivo digital para los documentos de valor probatorios pueden causar problemas legales, si los documentos no respetan el marco regulatorio definido en su archivo

22. Ciberseguridad.indd 504 12/17/19 16:45

- El uso de herramientas no seguras favorece el robo de identidad y la falsificación de documentos
- Puede ser necesario rastrear los eventos, acciones o informaciones, con el fin de encontrar la descripción exacta, la secuencia cronológica y de uso con el fin de responder a un marco regulatorio. Todos los rastreos deben ser grabados y guardado para garantizar su integridad: cualquier modificación o eliminación de trazos debe ser detectable. Son certificados y pueden ser llevados ante la justicia como pruebas. La ausencia de medio adecuado al archivo hace que esta trazabilidad imposible o a valor jurídico nulo.

Recomendaciones, buenas prácticas.

- Asegurar la trazabilidad de todas las operaciones de archivo (comunicación, migración, posible eliminación...)
- Los documentos oficiales y compromisos contractuales deben tener el valor probatorio, es decir que la integridad de su contenido debe estar legalmente garantizado a través de mecanismos de seguridad, entre los cuales una firma electrónica segura.
- Diferenciar las nociones de GED (Gestión Documentos Electrónicos) y SAE (Sistema de archivo electrónico). Un GED solo gestionar, controlar, indexar y almacenar documentos digitales. Además de estas funciones, un SAE responde a una lógica de conservación y cumplimiento legal / regulatorio. Un SAE garantiza, por lo tanto, manteniendo la integridad de documentos impidiendo su modificación durante su conservación. Un SAE mantiene el valor probatorio de documentos, que no es el caso de una GED.
- Elegir un sistema de archivo electrónico de acuerdo con la norma.
- Los documentos fiscales y contractuales (órdenes de compra, estados contables, recibos de efectivo, etc.) deben ser alojado en Mexico.

6TO DESAFÍO: PROPORCIONAR PRODUCTOS CONECTADOS Y/O SERVICIOS CONECTADOS SEGUROS

Los objetos conectados se han vuelto omnipresentes y están por naturaleza expuestos a los riesgos relacionados con la ciberseguridad. Estos riesgos son variados y se refieren tanto al robo de datos sensibles y el espionaje industrial que el sabotaje de objetos físicos y la venta de productos conectados (por ejemplo, caldera, domótica) o de servicios asociados (seguimiento remoto de la buena operación de una bomba, por ejemplo) por lo tanto requiere el establecimiento de seguridad para proteger a los clientes, los terceros y la empresa que puso estos productos en el mercado.

22. Ciberseguridad.indd 505 12/17/19 16:45

La implementación de estas medidas es en particular complicada por la diversidad de protocolos de intercambios utilizados. Los problemas de la interoperabilidad no deben conducir a disminuir los requisitos de ciberseguridad. La comercialización de los objetos conectados debe ser particularmente vigilante acerca de la integración de algún grado de seguridad cibernética sobre el diseño del producto con el fin de su utilización (Ej.: dispositivos de vigilancia médica).

Vulnerabilidades y riesgos asociados

Las vulnerabilidades asociadas a los servicios conectados consisten en primer lugar en la posibilidad de robar y / o de desviar datos, o incluso alterarlos. La explotación de vulnerabilidades de softwares puede llevar a una pérdida de control de objetos desplegados. Las vulnerabilidades pueden relacionarse con el objeto en sí, o el objeto asociado a una infraestructura de mando y control. Los riesgos siguientes pueden destacarse:

- Tomar el control de los equipos. Los objetos conectados son a menudo basados en tecnologías abiertas (Linux, OpenSSL, etc.), en el que las vulnerabilidades son regularmente descubrimientos, ya sea de implementación o de funcionamiento. Podemos citar varios ejemplos de situaciones de toma maliciosa:

– Desviación de sensores integrados como cámaras, camionetas, y acceso a la red
– Intrusión en la lógica de control /control / regulación del producto, lo que puede dar lugar a mal funcionamiento e ir al bloqueo de su operación
– El desvío de un sensor o la modificación de un sistema de control / regulación que puede poner en peligro la seguridad física de una instalación y usuarios

Los softwares desarrollados específicamente son en forma ad hoc, sin ninguna preocupación específica por la seguridad cibernética. En un ambiente software, las actualizaciones permiten resolver el problema, pero en el mundo de los objetos conectados, las actualizaciones no son tan frecuentes (o inexistentes), y no muy segura. Esto provoca una fuerte capacidad para un asaltante, en comprometer una amplia red de objetos conectados y utilizarlos para su beneficio.

– Robo de datos. El robo de datos es la amenaza la más obvia, en la medida que los protocolos utilizados en el contexto IoT, o equipos terminales, son de baja capacidad. Por lo tanto, no son capaces de lograr operaciones complejas de codificación. Los datos se transmiten a menudo en claro, o con mecanismos fácilmente descifrados en redes o no protegidos. Los desarrollos recientes de

22. Ciberseguridad.indd 506 12/17/19 16:45

las redes IoT a protocolos de radio muy eficientes energéticamente inducen unos mayores riesgos.

– Corrupción de datos. Por la misma razón, los equipos involucrados no son capaces de sellar los datos para asegurar su integridad, ni de autentificar los diversos actores de la comunicación. Un atacante puede, por lo tanto, encajar en una comunicación haciéndose pasar por uno de los oradores y modificar los mensajes intercambiados. Esto puede llevar a un cambio en datos procesados por la infraestructura (con un impacto directo en la calidad de servicio), o una modificación de la configuración del objeto conectado.

Las acciones esenciales para entender la ciberseguridad en su empresa

Para poder proteger su negocio (colaboradores, sistema de producción, sistemas de información...) de todo tipo de ataques, es esencial, cualquier sea su tamaño y grado de integración de las herramientas digitales y exposición a internet, de establecer una **política de seguridad adaptada a su entorno y a su contexto industrial**.

22. Ciberseguridad.indd 507 12/17/19 16:45

Índice de autores

Héctor Edgar Buenrostro Mercado
Doctor en Ciencias Sociales con mención en Economía y Gestión de la Innovación por la UAM-X y Maestro en Desarrollo regional por El Colegio de la Frontera Norte. Actualmente es coordinador de la maestría en Gestión de la Innovación en TIC y de la Maestría en Dirección Estratégica de las TIC en el Centro de Investigación e Innovación en TIC (INFOTEC). Sus áreas de interés son el uso de las TIC para la innovación, la formación de redes inter empresariales en sectores intensivos en conocimiento, clústeres, desarrollo regional, transferencia tecnológica y política de ciencia y tecnología. Ha colaborado en proyectos de investigación para organismos nacionales e internacionales, entre los más importantes se encuentran la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) en México y Chile, la Organización Internacional del Trabajo (OIT) en su oficina para México y Cuba, la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO) en su sede de México, la Fundación Carolina, Séptimo Programa Marco de la Unión Europea y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Es parte de los evaluadores para revistas académicas nacionales e internacionales en los temas de innovación, política de ciencia y tecnología y desarrollo regional. Cuenta con diversas publicaciones académicas, entre capítulos de libros, artículos y libros, de manera individual o en coautoría, así como ponencias en congresos académicos nacionales e internacionales.

Salvador Carlos Hernández
Investigador CINVESTAV del IPN, Unidad Saltillo, Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía (SRNyE), Laboratorio de Revaloración de Residuos. Es Investigador CINVESTAV 3B. Categoría del SNI, Nivel I. Doctor en Producción y Automatización (2005), Laboratoire d'Automatique de Grenoble,Institut National Polytechnique de Grenoble, Francia. Sus temas de investigación están enfocados en; revaloración de subproductos para generación de energía, evaluación de impacto ambiental, aplicaciones de la teoría de control automático.

Jesús Antonio del Río Portilla
Es licenciado, maestro y doctor en Física por la Facultad de Ciencias de la UNAM. Actualmente es Director fundador e investigador titular "C" del Instituto de Energías Renovables de la UNAM con nivel D en el PRIDE, miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel III y miembro de la Junta de Gobierno de El Colegio de Morelos y de la Junta Directiva del Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias. Inició su carrera académica en la Universidad Autónoma Chapingo y actualmente es miembro de las Academias

23. Autores.indd 509 12/17/19 16:45

Mexicana de Ciencias, Academia de Ingeniería y presidente de la Academia de Ciencias de Morelos (2011-2012, reelecto 2013-2014). Fue coordinador del Programa Regional Morelos de la Academia de Ingeniería (2007- 2008), y coordinador Regional V de la Academia de Ingeniería (Guerrero, Hidalgo, Morelos, Puebla 2009-2010). Sus contribuciones científicas van desde investigación básica hasta el desarrollo tecnológico en los ámbitos de la termodinámica de procesos irreversibles, transporte en medios porosos, fotónica con nanoestructuras, sistemas complejos, fuentes renovables de energía y minería de citas. Y, dentro de sus labores de docencia ha formado jóvenes universitarios en estas líneas de investigación. Le interesa tanto la investigación científica como la docencia, la divulgación científica y el desarrollo tecnológico. Fue galardonado con la Medalla Gabino Barreda, y por tres años consecutivos con el Premio de la Casa de la Ciencia de la UAEM, al trabajo en Ciencias Básicas. Su labor de investigación doctoral fue reconocida con el Premio Weizmann en 1991.

José Luis de la Cruz Gallegos
Actualmente es Director General del Instituto para el Desarrollo Industrial y el Crecimiento Económico (IDIC) A.C. Realizó sus estudios de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones en el Instituto Politécnico Nacional (IPN); su Maestría en Economía en El Colegio de México y de Doctorado en Administración en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, campus Ciudad de México. Entre el 2010 y 2013 fue Director del Centro de Investigación en Economía y Negocios (CIEN) y del Departamento de Economía y Finanzas en el Tecnológico de Monterrey, Campus Estado de México, en donde también fue profesor de planta entre el 2004 y el 2013. Entre el 2006 y el 2015 perteneció al Sistema Nacional de Investigadores. Ha realizado estancias de investigación en la *Kennedy School of Government* de la Universidad de Harvard y en el Instituto Lawrence Klein de la Universidad Autónoma de Madrid. Se ha desempeñado en los sectores privado, académico y público, en este último como Subdirector de Análisis Macroeconómico y Subdirector de Estudios Financieros en la Secretaria de Hacienda y Crédito Público. Ha sido asesor en la Cámara de Diputados y en la Cámara de Senadores, consultor para empresas de los sectores industrial y servicios, y escrito para diversas fundaciones y organizaciones no gubernamentales como la Fundación Friederich Ebert, OXFAM, CANACERO, Deloitte.

Víctor del Río
El Dr. Víctor Del Rio es un experto internacional en el área de estrategia de grandes proyectos científicos. Es Coordinador del Comité Internacional de Estrategia y Ciencia – iniciativa Sincrotrón mexicano en Hidalgo, Senior Research Industrial Fellow de la Universidad RMIT e investigador honorario de la Universidad Latrobe, ambas ubicadas en Australia.

Fabián Fernández Luqueño
Coordinador Académico, Programas de Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía, CINVESTAV-Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México. Doctor en Ciencias en Biotecnología (2009). Temas de investigación:degradación de hidrocarburos, emisión de gases efecto invernadero, simbiosis planta-microorganismo, uso de residuos urbanos y agroindustriales en la agricultura. Aprovechamiento de residuos urbanos industriales y agrope-

23. Autores.indd 510 12/17/19 16:45

cuarios en la agricultura y en la generación de biogás. Efecto de nanopartículas sobre el medio ambiente

Fernando Flores Camacho
Grupo de Cognición y Didáctica de las Ciencias. Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, UNAM. Físico y doctor en pedagogía ambos grados por la UNAM. Ha sido profesor de la Facultad de Ciencias en la carrera de Física y actualmente profesor del Posgrado de Pedagogía de la Facultad de Filosofía y Letras, ha participado como tutor en otros posgrados y ha sido colaborador de posgrados nacionales e internacionales. Ha sido profesor invitado en diversas universidades extranjeras como las de Salta, Sao Paulo, Nacional de Colombia, el Centro Internacional de Física, etc., Autor de más de 50 artículos de investigación sobre aspectos de formación conceptual, cambio conceptual y concepciones de ciencia de los profesores en revistar internacionales y nacionales, así como autor de diversos libros y capítulos en libros sobre educación en ciencia, así como de libros de texto de Física. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores Nivel II, PRIDE "D", y participa en diversas asociaciones académicas como Consejo Mexicano de Investigación Educativa, EARLI, Academia Mexicana de Profesores de Ciencias Naturales. Ha tenido diversos reconocimientos nacionales así como premios y distinciones, entre los que se cuentan la medalla Gabino Barreda.

Juan Manuel Ibarra Zannatha
Laboratorio de Robótica y Visión Artificial. Departamento de Control Automático. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones de la ESIME-IPN (1973), hizo estudios de maestría en CINVESTAV y en la ENST (Francia). Obtuvo el diploma de doctor ingeniero en Francia en 1982. Ha sido ingeniero de diseño en la industria (1971-73) e investigador en el CIDET-SCT (1973-1976). Ha realizado dos estancias sabáticas; una en el Centro de Investigación en Computación del IPN durante el año escolar 1996-97 y otra en la Universidad Politécnica de Madrid durante 2005. Sus áreas de interés son la robótica, la visión artificial y el control inteligente. Ha participado intensamente en la creación del Laboratorio de Robótica de la SCA en CINVESTAV, en el de la U. del Cauca en Colombia, así como del Laboratorio de Automatización en el CIC-IPN. Ha participado en la elaboración de planes de estudios en CINVESTAV y en otras Instituciones. Creó el programa de especialización en Robótica (1988), hizo un plan de fortalecimiento de la planta docente de la SCA (1987-91). Ha organizado eventos científico-académicos tanto nacionales como internacionales dentro de sus áreas de interés, tales como escuelas de verano, coloquios, congresos, talleres; muchos de ellos con el patrocinio de instancias como IFAC, IEEE, AMCA, AMRob, etc. Ha sido invitado a participar como miembro de los comités de programa o de comités organizadores en eventos científico-académicos internacionales de relevancia, habiendo sido co-presidente de tres de ellos. Ha participado en múltiples proyectos de investigación multinacionales financiados por instancias como la Comunidad Europea (Programa ESPRIT) o el CYTED. Participó en la elaboración del Plan Nacional de Modernización de la Educación 1988-94, coordinando la parte correspondiente a posgrado e investigación en el área tecnológica.

23. Autores.indd 511 12/17/19 16:45

Ismael López Juárez
Profesor-Investigador en el Laboratorio de Manufactura Inteligente del CINVESTAV. Ingeniero Mecánico-Electricista por la Facultad de Ingeniería-UNAM, Maestría en Ciencias: diseño de instrumentos, Manchester University, U.K. Doctorado en Filosofía: robótica Inteligente, The NottinghamTrent University, U.K. Posdoctorado: soldadura Robotizada GMAW, COMIMSA. Sus líneas de investigación están enfocadas en robótica y manufactura flexible, control inteligente, ensamble mecánico empleando robots, inteligencia artificial; redes neuronales y lógica difusa, fusión sensorial y aprendizaje multimodal, inspección y control de calidad empleando visión maquinal, instrumentación electrónica y automatización industrial, sistemas embebidos, reconocimiento y aprendizaje de patrones, teoría de resonancia adaptable (ART).

Patricia Magaña Rueda
Maestra en Ciencias Facultad de Ciencias, UNAM.Cuenta un diploma en Estudios Filosóficos y Sociales sobre Ciencia y Tecnología por la UNAM. Tiene el grado de Experta Universitaria en Divulgación y Cultura Científica por la Universidad de Oviedo, España. Desde 1996 es directora de la revista Ciencias, publicación de cultura científica de Facultad de Ciencias, UNAM, donde también coordina toda el área de publicaciones. En 2002, fundó la Secretaría de Comunicación y Divulgación de la Ciencia de la Facultad de Ciencias de la UNAM. Ha publicado capítulos en libros, artículos y libros sobre divulgación científica y coordinado y conducido más de 60 programas de televisión sobre diversos temas de ciencia. De 2016 a 2018, presidió la Sociedad Mexicana para la Divulgación de la Ciencia y la Técnica A.C. Tiene diversos reconocimientos personales como: la Distinción Universidad Nacional para Jóvenes Académicos 1992, en el área de Aportación Artística y Extensión de la Cultura; el Premio Nacional de Periodismo e Información 1999-2000, otorgado por el Gobierno de la República en 2000; así como el Premio a la Divulgación y Promoción de la Ciencia TWNSO 2000, otorgado por la Academia Mexicana de Ciencias en 2001.

Rolando Menchaca Méndez
Docente investigador titular y jefe del Laboratorio de Redes y Ciencia de Datos del Centro de Investigación en Computación (CIC), IPN. Doctor en Ingeniería en Computación por parte de la Universidad de California en Santa Cruz. Galardonado con el premio a la mejor tesis de maestría en computación otorgado por la ANIEI en 1999, con el premio al mejor artículo presentado en el congreso IEEE MASS 2008 y el artículo titulado "STORM: A Framework for Integrated Routing, Scheduling and Traffic Management in Ad Hoc Networks" fue seleccionado como artículo destacado en la edición de agosto de 2012 de la revista IEEE Transactions on Mobile Computing. Ha publicado más de 60 artículos científicos en revistas, conferencias y libros.

Jorge Fernando Negrete
Presidente de Digital Policy & Law Group. Abogado por la UNAM.(Ha sido profesor de Teoría del Estado, Derecho Administrativo, Instituciones de Derecho Público y Derecho de la Comunicación en la UNAM, ITAM, de la Universidad La Salle y la Universidad Anáhuac del Sur. Su actividad académica y profesional se desarrolla alrededor del Derecho

23. Autores.indd 512 12/17/19 16:45

de la Comunicación, las Telecomunicaciones, las Tecnologías de la Información, la regulación y la Política Cultural. Ha presentado conferencias en Brasil, España, Alemania, Costa Rica, Colombia, China, Suecia y Argentina entre otros países. Es colaborador regular del periódico Reforma (México), ha publicado en Forbes, La República (Colombia), Revista Mexicana de Derecho Privado, Revista mexicana de Derecho y Cultura, los Cuadernos del Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM y el sitio especializado en telecomunicaciones Mediatelecom. Ha sido asesor de inumerables organismos públicos y privados; y fue presidente de la Asociación Mexicana de Derecho a la Información A.C. (AMEDI). Fue Presidente ejecutivo de Grupo Mediatelecom.Es miembro del Consejo Consultivo del Instituto Federal de Telecomunicaciones, IFT.

Arturo Oropeza García
Doctor en Derecho por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), e Investigador del Instituto de Investigaciones Jurídicas de la (IIJ, UNAM). Vicepresidente del Instituto para el Desarrollo Industrial y el Crecimiento Económico (IDIC).Es Investigador Nacional del Sistema Nacional de Investigadores (SNI). Árbitro de Solución de Controversias por parte de Brasil dentro del mecanismo del Mercosur. Especialista en temas globales, de integración y comercio internacional. Autor y Coordinador de más de 30 obras en la materia, con especialidad en los temas de Asia del este, China y Latinoamérica. Conferencista y profesor invitado en diversas Universidades de América del Norte, Asia, Latinoamérica, Europa y África. Articulista en diversos periódicos y revistas y miembro del Consejo Mexicano de Asuntos Internacionales (COMEXI).

Edgar Ocampo Téllez
Profesor del ITAM y UNAM. Experto reconocido en temas de hidrocarburos y energía. Arquitecto por la UNAM, Se ha desempeñado como coordinador de proyectos de ingeniería en diferentes empresas en México y en Francia. Ha dictado numerosas conferencias en temas de petróleo y energía. Es columnista de la revista *Energía a Debate,* del diario *El Sur* de Campeche y el semanario Energía y ecología de Tabasco.

Christian Peñaloza
Director General, Instituto de Investigaciones en Tecnologías Emergentes, Mirai Innovation Japan. Cuenta con un título de Ingeniería en Sistemas por parte de San Diego State University, Maestría en Ciencias de la Ingeniería y un Doctorado en Neurociencia Cognitiva aplicada a la robótica por parte de la Universidad de Osaka. El Dr. Peñaloza ha sido autor de un gran numero de publicaciones científicas en diversas conferencias arbitradas internacionalmente en el área de robótica e Inteligencia Artificial. Sus temas de investigación incluyen: inteligencia artificial, interfaces cerebro-maquina, interacción humano-robot, robótica en la nube y aprendizaje visual mediante datos web. En mayo de 2014, su proyecto de investigación Automating an Intelligent Brain Machine Interface System, fue renombrado por la Engineering & Technology (E & T magazine) del Reino Unido así como en diversos portales de noticias en más de 20 países (cinco idiomas) y revistas de tecnología médica especializadas. Ha recibido numerosos premios que incluyen: Beca Monbukagakusho por parte del gobierno japonés (2012), Most Valuable Player (MVP) Award en la 3rd Global Technology Entrepreneurship and Commercialization (G-TEC)

23. Autores.indd 513 12/17/19 16:45

program de la Universidad de Osaka (2013), y el Excellence Award for Overseas Research by the Manufacturing and Technology Association in Japan (2014). En el 2016, la revista MIT Technology Review reconoció al Dr. Peñaloza como uno de los "Innovadores Menores de 35 años" en México y en particular le otorgó la distinción de "Innovador del Año 2016", la más importante a nivel mundial para jóvenes innovadores que se encuentran a la vanguardia tecnológica, dando soluciones a problemas globales.

Juan Humberto Sossa Azuela
Jefe del Laboratorio de Robótica y Mecatrónica del Centro de Investigación en Computación del Instituto Politécnico Nacional. Miembro del Sistema Nacional de investigadores nivel 3 y de la Academia mexicana de Ciencias. Es también miembro Senior de la IEEE. Es autor de 20 libros, 8 patentes y más 450 artículos en revistas, congresos y capítulos de libro. Ha recibido múltiples premios entre los que destacan La Presea Lázaro Cárdenas por el IPN en la categoría de Profesor Investigador, el Galardón Honorífico Enrique Díaz de León por la UDG y la Instauración de la Cátedra con su nombre por la UACJ. Sus áreas de investigación son el Inteligencia Artificial y Robótica. Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica por la Universidad de Guadalajara en 1981. Obtuvo los grados de Maestro en Ciencias con especialidad en Ingeniería Eléctrica en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN en 1987 y de Doctor del Instituto Politécnico de Grenoble, Francia en 1992. Fue Presidente de la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial de 2002 a 2004. Ha organizado más de 20 congresos relacionados con las Ciencias de la Computación, la Informática y la Inteligencia Artificial.

Jordy Micheli Thirión
Departamento de Economía en la UAM Azcapotzalco. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, Nivel 2. Ingeniero Industrial (UNAM), una Maestría en Economía (UNAM) y Doctorado en Diseño y Estudios Urbanos (UAM A). Entre sus cargos anteriores destacan Secretario de la Unidad Azcapotzalco, de la Universidad Autónoma Metropolitana, Director Editorial de la revista TecnoIndustria. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Profesor Externo Invitado de la Maestría en Economía Aplicada. El Colegio de la Frontera Norte. Algunas de sus publicaciones: Japan Inc. en México. Las empresas y modelos laborales japoneses, Nueva manufactura, globalización y producción de automóviles en México, entre otras.

Brenda Valderrama Blanco
Instituto de Biotecnología. Universidad Nacional Autónoma de México. La Dra. Brenda Valderrama cursó sus estudios de licenciatura, maestría y doctorado en el Programa de Investigación Biomédica Básica en la UNAM, obteniendo mención honorífica en los exámenes de posgrado. El tema de su tesis doctoral fue sobre la regulación transcripcional de los genes que codifican para la nitrogenasa en Rhizobium etli bajo la dirección del Dr. Jaime Mora Celis. Posteriormente realizó una estancia posdoctoral en el Imperial College en Londres bajo la dirección del Dr. Martin Buck dedicada a la ingeniería de proteínas del regulador transcripcional sigma 54. En esta fase de su carrera, la Dra. Valderrama publicó ocho artículos de investigación siendo responsable de uno de ellos. En el ámbito docente, ha impartido más de 15 cursos y laboratorios con énfasis en bioquímica de proteínas.

23. Autores.indd 514 12/17/19 16:45

Asimismo, ha participado en más de 60 comités tutelares, candidaturas a doctorado y exámenes profesionales o de grado en diferentes instituciones. También ha participado como evaluadora de proyectos de investigación para Conacyt y como evaluadora del desempeño del personal académico para las Universidades Autónomas de los Estados de Morelos y Coahuila. Actualmente es miembro de la Sociedad Mexicana de Bioquímica en sus ramas de Diseño de proteínas y de Stress oxidativo, de la American Chemical Society y del grupo europeo de enzimas redox Oxizymes.

23. Autores.indd 515 12/17/19 16:45

Desarrollo Industrial 2050. Hacia una industria del futuro, coordinado por Arturo Oropeza García, se terminó de componer, imprimir y encuadernar en el mes de noviembre de 2019.

Colofon.indd 519 12/17/19 16:45

ISBN: 978-607-97629-5-7

La industria en México viene de un largo olvido donde su participación en el desarrollo económico del país fue disminuyendo de manera paulatina desde la adopción en 1994 de un modelo de crecimiento donde de manera enfática se renunció a la estrategia de contar con una política industrial.

Por ello al inicio de la tercera década del siglo XXI la industria mexicana, a diferencia de las economías que continuaron con el empuje y desarrollo de sus políticas industriales a lo largo del último tercio del siglo XX, tiene ante sí la tarea de resolver dos grandes retos en la materia. El primero, referido a recuperar el tiempo perdido del desarrollo industrial *olvidado*, y el segundo, orientar este esfuerzo hacia una nueva industria del futuro personificado por la industria 4.0 y la 5G.

El reto de ningún modo resultará fácil, ya que habrá que cambiar paradogmas que se niegan a su revisión o desplazamiento; de igual modo que recuperar la cultura de la transformación será una tarea de gran calado, por lo que la solución al subdesarrollo industrial del país será directamente proporcional al tiempo que se tarde en atender el rezago, y a la dimensión de la voluntad política que se invierta para corregirlo.