



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA



Fundación México-Estados Unidos para la Ciencia
The United States-Mexico Foundation for Science

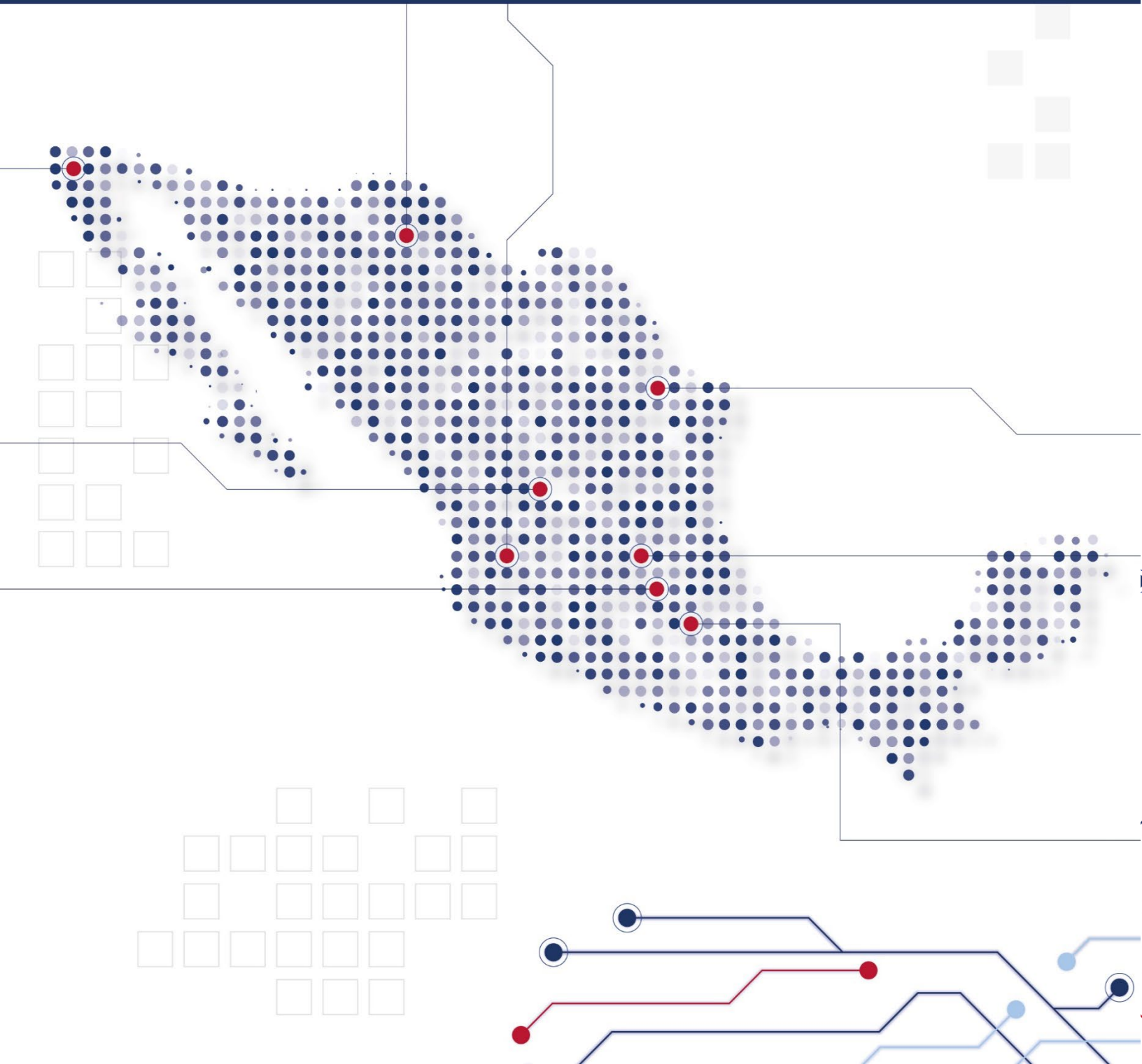
Mapa de ruta:
Oportunidades para el *Nearshoring*
de Semiconductores en México
Julio de 2024



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA

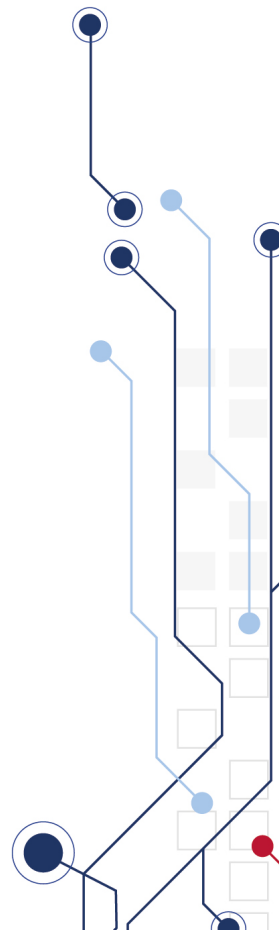
AVISO LEGAL

El desarrollo de este reporte fue posible gracias al apoyo del pueblo de los Estados Unidos a través de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). El contenido de este reporte es responsabilidad exclusiva de la Fundación México-Estados Unidos para la Ciencia (FUMEC) y Dexis Consulting Group, y no necesariamente refleja las opiniones de USAID, ni del Gobierno de los Estados Unidos de América.



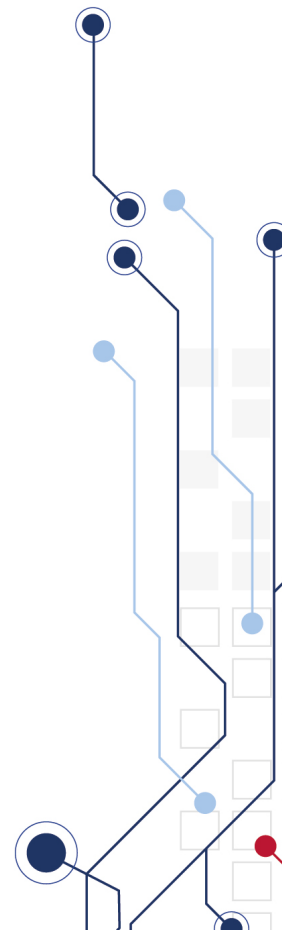
ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO	1
1. CADENA DE VALOR DE SEMICONDUCTORES	4
1.1. Etapas de la cadena de valor de semiconductores	5
1.2. Panorama del comercio mundial de semiconductores	8
2. CADENA DE SUMINISTRO DE SEMICONDUCTORES EN NORTEAMÉRICA	10
2.1. Distribución de la cadena de suministro de semiconductores en Norteamérica	11
2.2. Aprovechando los recursos de semiconductores de Norteamérica	14
2.3. La alineación actual de México con las cadenas de suministro de Norteamérica	15
3. INTEGRACIÓN DE MÉXICO EN LA CADENA DE SUMINISTRO DE SEMICONDUCTORES	17
3.1. Ventajas de establecer etapas de la cadena de suministro de semiconductores en México	18
3.2. Desafíos para establecer etapas de la cadena de suministro de semiconductores en México	19
3.3. Oportunidades en el marco de la política pública federal de México	20
3.4. Las regiones del segmento SC-CORE más prometedoras de México	21
3.5. Análisis de los estados	25
4. PLANES DE ACCIÓN PARA PROMOVER EL PAPEL DE MÉXICO EN LA CADENA DE SUMINISTRO DE SEMICONDUCTORES DE NORTEAMÉRICA	41
CONCLUSIÓN	53
REFERENCIAS	54



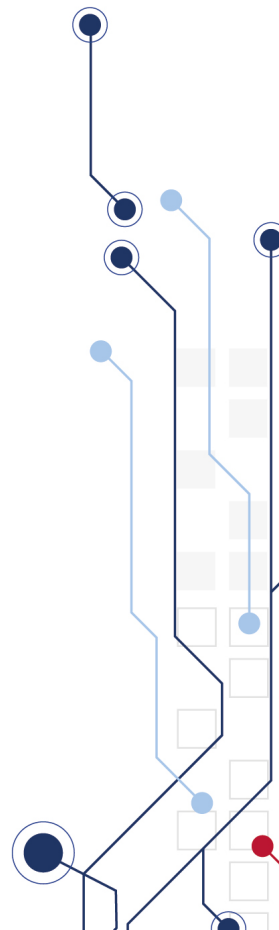
FIGURAS

Figura 1. Definición del perfil empresarial de la industria de semiconductores	4
Figura 2. Marco de la cadena de valor extendida del MSNR	5
Figura 3. Interacción de la cadena de valor semiconductores del MNSR	8
Figura 4. Importaciones y exportaciones mundiales de semiconductores (2018–2022)	9
Figura 5. Distribución de la cadena de suministro de semiconductores en Norteamérica.....	12
Figura 6. Distribución de la cadena de suministro del segmento SC-CORE en México	22
Figura 7. Distribución de las industrias mexicanas de la cadena de suministro de semiconductores del segmento SC-CORE y de productos electrónicos del sector SC-USER	23
Figura 8. Regiones con capacidades de semiconductores validadas en México	24



TABLAS

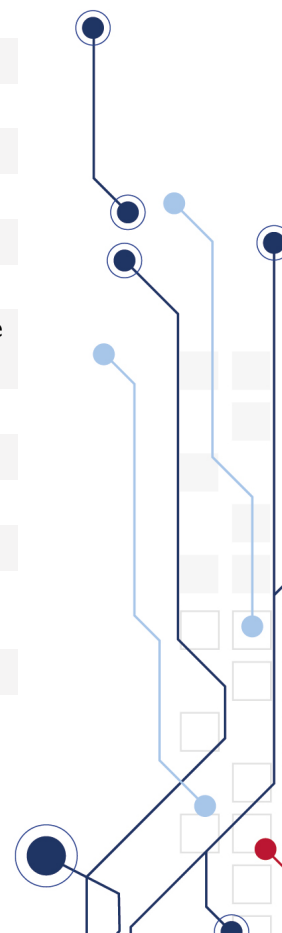
Tabla 1: Capacidades necesarias por etapa de la cadena de valor de semiconductores	6
Tabla 2: Mapeo de las importaciones de semiconductores en América del Norte (2022).....	11
Tabla 3: Análisis FODA de la industria de semiconductores en Norteamérica	13
Tabla 4: Establecimientos de SC-CORE y SC-USER de la Frontera Norte.....	33
Tabla 5: Establecimientos de SC-CORE y SC-USER del Corredor Central y Zona de Influencia de la Ciudad de México	40





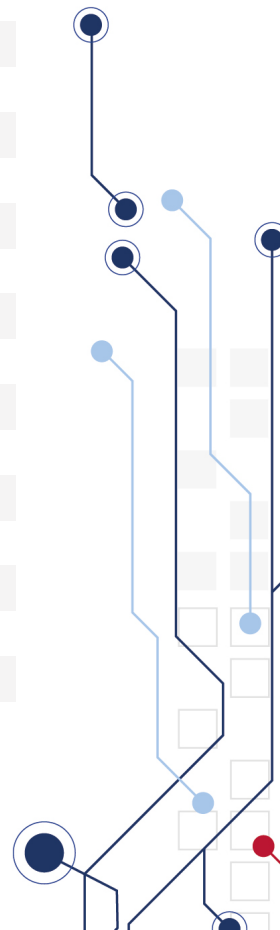
ABREVIATURAS

AC	América Central
AMPIP	Asociación Mexicana de Parques Industriales Privados
ATP	Ensamblaje, Prueba y Empaquetado
CAD	Diseño Asistido por Computadora
CANIETI	Cámara Nacional de la Industria Electrónica, Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información
CEM	Fabricantes de Electrónica por Contrato
CEM	Fabricación de productos electrónicos por contrato
CHIPS Act	Ley de Creación de Incentivos Útiles para la Producción de Semiconductores y Ciencia
CI	Circuito Integrado
CMC	Corporación Canadiense de Microeléctrica
CMM	Consorcio Mexicano de Microsistemas
Conahcyt	Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías
DEAN	Diálogo Económico de Alto Nivel
DENUE	Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas
DoC	Departamento de Comercio de los EE.UU.
DoD	Departamento de Defensa de los EE.UU.
DoS	Departamento de Estado de los EE.UU.
EDA	Automatización de Diseño Electrónico
EMS	Servicios de Producción Electrónica
FDI	Inversión Extranjera Directa
Fondo ITSI	Fondo Internacional de Seguridad Tecnológica e Innovación
FPGA	Matriz de Puerta Programable en Campo
FUMEC	Fundación México-Estados Unidos para la Ciencia
HDL	Lenguaje de Descripción de Hardware
HS	Sistema armonizado –códigos de clasificación de importaciones/exportaciones de la OMA (Organización Mundial de Aduanas)
I+D	Investigación y Desarrollo
IA	Inteligencia Artificial
IDM	Fabricante de dispositivos integrados
IMCO	Instituto Mexicano para la Competitividad
IMMEX	Programa de la Industria Manufacturera, Maquiladora y de Servicios de Exportación
INAOE	Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica





INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
IoT	Internet de las cosas
IPN	Instituto Politécnico Nacional
ISC	Instituto de Estrategia y Competitividad de Harvard Business School
LED	Diodo emisor de luz
LSI	Integración a gran escala
MEP	Programa de extensión para la manufactura
MNSR	Mapa de ruta del <i>nearshoring</i> de semiconductores en México
NEMC	Coalición de Microelectrónica del Noreste
NIC	País recientemente industrializado
NIST	Instituto Nacional de Estándares y Tecnología
Nm	Nanómetro (milmillonésima parte de un metro)
NSER	Mapa Económico Nacional de Semiconductores
NSTC	Centro Nacional de Tecnología de Semiconductores
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
ODM	Fabricante de diseño original
OEM	Fabricante de equipos originales
OMA	Organización Mundial de Aduanas
OSAT	Ensamblaje y pruebas de semiconductores subcontratados
PCB	Placa de circuito impreso
PDK	Kit de diseño de procesos
PI	Propiedad Intelectual
REPSE	Registro de prestadores de servicios especializados u obras especializadas
RTL	Nivel de transferencia entre registros
SC	Semiconductor
SCIAN	Sistema de Clasificación Industrial de Norteamérica
SI	Integrador de sistemas
SIA	Asociación de la Industria de Semiconductores
SMEM	Sistemas microelectromecánicos
SMTA	Asociación de Tecnología de Montaje Superficial
SoC	Sistema en chip
STEM	Ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas
STI	Ciencia, tecnología e innovación
TecNM	Tecnológico Nacional de México
TI	Tecnologías de la Información
TIC	Tecnologías de la Información y las Comunicaciones



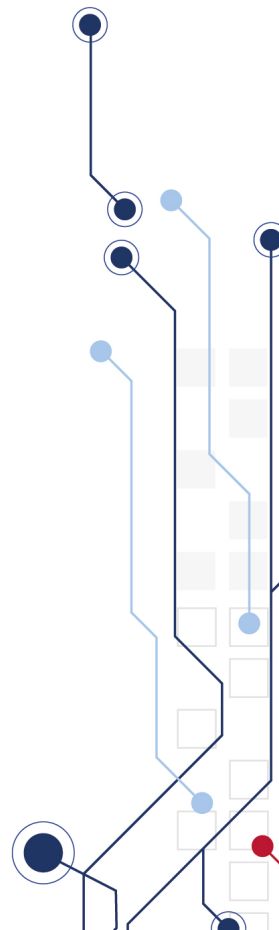


USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA



Fundación México-Estados Unidos para la Ciencia
The United States-Mexico Foundation for Science

T-MEC	Tratado entre México, Estados Unidos y Canadá
UE	Unión Europea
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
USAID	Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional
USMF	U.S.-Mexico Foundation
VE	Vehículo Eléctrico
VLSI	Integración a escala muy grande
WSTS	Estadísticas del comercio mundial de semiconductores





USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA



Fundación México-Estados Unidos para la Ciencia
The United States-Mexico Foundation for Science

Mensaje de USAID

La industria de semiconductores crece cada año y se ha convertido en una parte insustituible de la economía global. Se espera que sus ingresos superen los 720,000 millones de dólares en 2024, y alcancen los 1.2 billones de dólares en 2029. Las interrupciones por la pandemia de COVID revelaron – a un gran costo – la importancia de la estabilidad de la cadena de suministro de semiconductores para los usuarios intermedios y finales. Dados los enormes desafíos económicos, la actual concentración geográfica de la producción de semiconductores genera riesgos para Norteamérica en general y para Estados Unidos en particular.

Ante dichos riesgos, se vuelve imprescindible crear una cadena de suministro de semiconductores más segura, resiliente y diversificada que garantice la disponibilidad de materiales, instalaciones tecnológicas y trabajadores calificados. Dentro del hemisferio occidental, México posee las condiciones y capacidades necesarias para asumir un papel de liderazgo en la cadena de suministro de semiconductores, tales como: la proximidad geográfica con los Estados Unidos, una significativa demanda de microchips por parte de importantes sectores económicos -como el electrónico, automotriz y aeroespacial-, así como la presencia de empresas de alta tecnología que ya contribuyen estratégicamente a las prioridades regionales de semiconductores.

A pesar de estas relevantes ventajas, el aumento de la participación de México en la cadena de suministro de semiconductores está lejos de estar garantizado. El gobierno federal y los gobiernos estatales, colaborando proactivamente con el sector privado y las instituciones académicas, deberán desarrollar una estrategia, a corto y mediano plazo, que ofrezca mitigar los riesgos y vulnerabilidades de la cadena de suministro. La estrategia debe crear las condiciones necesarias para atraer y retener inversiones que conviertan a las empresas mexicanas en socios confiables y de largo plazo, en la producción regional de semiconductores.

En este contexto, la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID, por sus siglas en inglés) en México, a través de su programa de integridad empresarial –ProIntegridad- financió a la Fundación México-Estados Unidos para la Ciencia (FUMEC) para el desarrollo del *Mapa de ruta: Oportunidades para el Nearshoring de Semiconductores en México*. En este informe único en su tipo, FUMEC ofrece un panorama de las condiciones existentes a nivel subnacional en áreas como infraestructura, fuerza laboral e innovación. Esperamos que sirva como una referencia importante para los líderes de los sectores público y privado, que buscan formular acciones y políticas que promuevan la inversión *nearshoring* en el sector de semiconductores de México. Esperamos que también sirva de base para la toma de decisiones colaborativas por parte de funcionarios gubernamentales, empresarios e investigadores, que buscan desarrollar una estrategia que posicione a México como un actor importante dentro de la cadena de valor de semiconductores de Norteamérica.

Mensaje de FUMEC

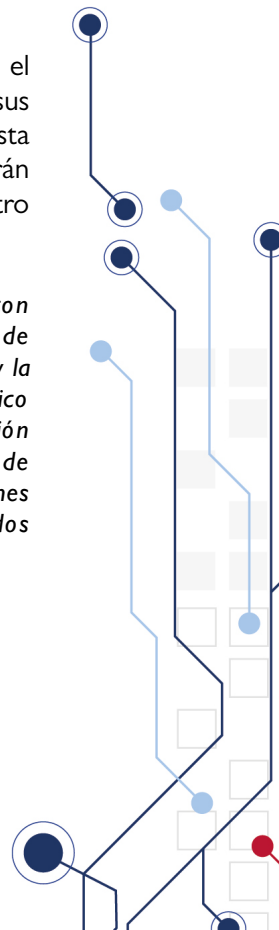
Las crecientes tensiones geopolíticas, la reconfiguración de los flujos comerciales internacionales y los alarmantes riesgos climáticos y sanitarios globales han hecho que la resiliencia de las cadenas de suministro sea tan importante como su eficiencia. Como resultado, la estabilidad y viabilidad a largo plazo de la base manufacturera de Norteamérica dependerán de la reubicación a México de actividades específicas de la cadena de suministro. Entre los principales sectores industriales, ninguno tiene mayor importancia estratégica y económica que los semiconductores, que se han convertido en componentes esenciales de la mayoría de los productos manufacturados.

México, por un lado, está adoptando un enfoque proactivo para estimular la inversión en semiconductores. A la fecha de escribir este artículo (junio de 2024), el gobierno mexicano ha respaldado un acuerdo de colaboración entre Secretarías claves a cargo de finanzas, desarrollo económico, protección ambiental, infraestructura, comunicaciones, transportes y energía que fue publicado en el Diario Oficial de la Federación. El propósito de este acuerdo de colaboración es promover la industria de semiconductores en México.

Por otra parte, México carece actualmente de un análisis profundo de las oportunidades, desafíos y requerimientos de capacidades que el sector público y privado deben abordar para asegurar el lugar de México en la oferta regional de semiconductores que se está construyendo. Mapa de ruta: Oportunidades para el *Nearshoring* de Semiconductores en México (MNSR, por sus siglas en inglés) representa un esfuerzo inicial para corregir esta deficiencia. El MNSR basándose en una extensa recopilación de datos, así como en perspectivas de expertos extraídas a través de entrevistas y talleres, identifica a los estados de la república mexicana que actualmente están llevando a cabo actividades importantes para el sector. Así como las condiciones que otros estados industrialmente activos deben cumplir para aspirar de manera realista a adquirir un papel importante en la cadena de suministro de semiconductores de Norteamérica.

El MNSR fue desarrollado por la Fundación México-Estados Unidos para la Ciencia (FUMEC) con el apoyo financiero de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID, por sus siglas en inglés), junto con la asistencia editorial y administrativa de Dexis Consulting Group, contratista de USAID. Invitamos a los lectores a consultar este trabajo y a sumarse a los esfuerzos que continuarán apoyando el desarrollo y la consolidación de la integración de México dentro de la cadena de suministro de semiconductores de América del Norte.

** La Fundación México-Estados Unidos para la Ciencia (FUMEC) es una organización sin fines de lucro creada con el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) en 1992 con el apoyo de organizaciones de Estados Unidos y México. Su misión es impulsar la competitividad binacional mediante el uso de la Ciencia y la Tecnología para resolver problemas y potenciar oportunidades. Su visión es convertir a Estados Unidos y México en la región más inclusiva, competitiva y sostenible del mundo. Para lograrlo, FUMEC diseña y facilita la articulación de programas de alto impacto que impulsan el desarrollo de ecosistemas de valor para regiones y sectores de interés mutuo. Estos programas se instrumentan con la participación de empresas, empresarios, instituciones académicas, así como entidades financieras y gubernamentales. FUMEC es auditada por el gobierno de Estados Unidos y por un auditor externo e independiente en México.*



AGRADECIMIENTOS

El Mapa de ruta: Oportunidades para el *Nearshoring* de Semiconductores en México (MNSR, por sus siglas en inglés) fue posible gracias al apoyo financiero de la **Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional** (USAID, por sus siglas en inglés) y con el apoyo y la orientación estratégica de **Dexis Consulting Group**. Asimismo, queremos expresar nuestro agradecimiento a Sofía Quesada, José Luis Gil Marroquin, Georgina Rangel, Timothy Kessler, Isabel Sandoval, Dení Navarro, Cecilia Sosa, Edith Salmerón, Ramiro Nava y Manuel Silva por llevar este trabajo a buen término. También queremos dar las gracias a Alejandro González Omerod por la corrección técnica de todo el manuscrito.

Expresamos nuestro agradecimiento a todas las organizaciones que alentaron el desarrollo de este proyecto de diferentes maneras: a la Secretaría de Economía y las Secretarías de Desarrollo Económico de varios estados de la república mexicana, en colaboración con el Departamento de Estado de Estados Unidos, representado a través de su embajada en México. También queremos dar las gracias a las asociaciones industriales, entre ellas el Consejo Nacional de Clústeres de Software y TI (MxTI) y la Cámara Nacional de la Industria Electrónica de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información (CANIETI). Asimismo, al Consulado General de México en San José, California, que apoyó a esta iniciativa. Finalmente, queremos agradecer a la *U.S. Mexico Foundation* (USMF) y a AMCHAM la Cámara Americana de Comercio de México (AmCham), entre otros.

Agradecemos a todas las organizaciones que entrevistamos y enriquecieron este mapa de ruta: la Asociación de la Industria de Semiconductores (SIA), la Alianza de Innovación en Semiconductores de Canadá (ASIC), la Asociación de Tecnología de Montaje Superficial (SMTA) México- Juárez, el American Enterprise Institute (AEI), CMC Microsystems, el Centro de Colaboración para la Innovación MiQro (C2MI) y el Consejo de Semiconductores de Canadá (CSC). Este esfuerzo conjunto reúne a diversas instituciones académicas y de investigación, como el Consejo Mexicano de Microsistemas (CMM), el Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología Aplicadas (CICTA-UACJ), el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV Guadalajara), el Centro de Nanociencias, Micro y Nanotecnologías del Instituto Politécnico Nacional (CNMN), TecNM Campus Tuxtla, la Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA), la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), CETYS Universidad, el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), y el Centro de Nanociencia y Nanotecnología de la UNAM, entre otros. Estas instituciones han contribuido con su experiencia y recursos para apoyar el desarrollo del talento y la tecnología de semiconductores en México.

Finalmente, un agradecimiento especial a los expertos revisores del MNSR: Jorge Varona e Israel Mejía, quienes aportaron numerosos comentarios constructivos, detalles técnicos y sugerencias, enriqueciendo su resultado final.

FUMEC

RESUMEN EJECUTIVO

La reubicación gradual de la fabricación de Asia a Norteamérica -a menudo denominada relocalización o *nearshoring*- ha sido noticia cotidiana desde 2022. El aumento de las tensiones geopolíticas, la reconfiguración de los flujos comerciales internacionales y los riesgos climáticos y sanitarios mundiales, han hecho que la resiliencia de la cadena de suministro sea tan importante como su eficiencia. Ninguno de los grandes sectores industriales tiene mayor importancia estratégica y económica como el de los semiconductores (SC), que se han convertido en componentes esenciales de la mayoría de los productos manufacturados. En este sentido, la estabilidad y viabilidad a largo plazo del diverso ecosistema industrial de Norteamérica, se beneficiará significativamente del éxito de la reubicación de ciertas actividades de la cadena de suministro de semiconductores en México. Este mapa de ruta explica por qué y cómo hacerlo.

México está emergiendo como un importante socio económico en el esfuerzo por transformar Norteamérica en una región líder mundial en el diseño, fabricación e integración de productos de semiconductores. Estados Unidos y México cuentan con cadenas de suministro profundamente interconectadas, especialmente en los sectores automovilístico, electrónico, aeroespacial y de dispositivos médicos. México añade valor a la región gracias a su reserva de talento calificado. Además, la proximidad geográfica de México con Estados Unidos permite que los componentes crucen la frontera fácilmente varias veces antes de la entrega final del producto a los mercados de destino.

El objetivo del Mapa de ruta: Oportunidades para el *Nearshoring* de Semiconductores en México (MNSR por sus siglas en inglés) es identificar las oportunidades de mercado, las condiciones y los requerimientos de capacidades para las empresas y regiones que buscan entrar o ampliar su papel -en México- dentro de la cadena de suministro de semiconductores de Norteamérica. El documento se divide en cuatro secciones, cada una de ellas desglosa de manera cada vez más específica las regiones geográficas:

- 1) Cadena de valor de semiconductores: Identifica las principales etapas y posiciones de mercado en los países productores más relevantes. Así como una descripción de los recursos, condiciones y capacidades tecnológicas necesarias para entrar o expandirse en etapas específicas de los semiconductores.
- 2) Cadena de suministro de semiconductores en Norteamérica: Identifica las etapas de producción de los semiconductores que son desarrollados actualmente en Norteamérica, enfocado en las principales empresas estadounidenses (empresas ancla) y sus proveedores clave.
- 3) Integración de México en la cadena de suministro del segmento SC CORE: Identificación y medición de actividades de semiconductores en México a nivel nacional y estatal, así como una descripción de las fortalezas, debilidades y oportunidades para México dentro del sector.
- 4) Planes de acción: Propuestas de política pública -enfocadas a los gobiernos estatales- y acciones desde el sector privado en seis áreas clave, que promoverán el potencial de México para recibir inversiones de *nearshoring* de semiconductores y aumentar su papel en este sector.

Basado en una amplia recopilación de datos, entrevistas y talleres (véase el Anexo I para mayor detalle sobre la metodología de investigación), este mapa de ruta identifica seis estados de la República Mexicana que ya están llevando a cabo algunas actividades de la cadena de suministro de

semiconductores: Aguascalientes, Baja California, Chihuahua, Jalisco, Querétaro y Tamaulipas. Por su experiencia, estos estados están preparados para ampliar su participación en el sector, especialmente en los ámbitos de las materias primas, ensamblaje, pruebas y empaquetado (ATP), así como el diseño básico e intermedio de chips. Además, el mapa de ruta describe las condiciones que otros seis estados -Durango, Guanajuato, Ciudad de México, Nuevo León, Puebla y Sonora- deben cumplir para desempeñar un papel importante en la cadena de suministro de semiconductores de Norteamérica. Estos estados poseen sólidas condiciones y recursos subyacentes, pero necesitan capacidades sectoriales específicas que las empresas ancla probablemente priorizarán al momento de tomar decisiones de *nearshoring*.

El construir una cadena de suministro regional en semiconductores -donde México adquiera un rol creciente- requerirá acciones específicas por parte de las instituciones públicas y privadas mexicanas. Los planes de acción deben ser operativamente viables a corto plazo (uno o dos años), y centrarse en mejorar la capacidad del sector de semiconductores. Dichos planes deben promover la coordinación y el intercambio de información entre los actores clave del sector de semiconductores, y promover la competencia económica. Evitando caer en proteccionismos, inversión pública o subsidios no estratégicos para algunas empresas específicas (o bien conectadas).

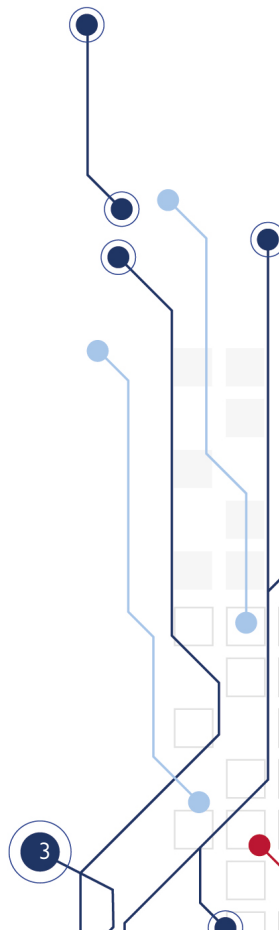
En este escenario, los gobiernos estatales, las asociaciones empresariales y las universidades pueden desempeñar un papel importante en la creación de conexiones locales entre empresas y oportunidades de financiamiento que impulsen proyectos de inversión en *nearshoring*. Para esto, los principales elementos de los planes de acción del MNSR incluyen:

1. **Infraestructura.** Aprovechar o conseguir los recursos financieros necesarios para construir instalaciones específicas para semiconductores, como laboratorios, cuartos limpios y centros de pruebas.
2. **Cadena de suministro.** Utilizar datos sobre patrones de comercio mundial, especialmente del este asiático, para identificar las etapas de la cadena de suministro de semiconductores en las que México tiene mayor potencial. Además de agilizar o eliminar las regulaciones que impiden la Inversión Extranjera Directa (IED). También, colaborar con las empresas ancla norteamericanas en los espacios de la cadena de suministro que las pequeñas y medianas empresas mexicanas pueden cubrir.
3. **Fuerza laboral.** Promover la colaboración e intercambio de información entre la industria y la academia para complementar los programas universitarios con planes de estudio específicos para semiconductores. Utilizar la retroalimentación de empresas clave para identificar, capacitar, contratar y retener a los trabajadores con la capacidad técnica necesaria para llevar a cabo etapas específicas de la cadena de suministro de semiconductores.
4. **Innovación.** Dirigir más inversiones en investigación y desarrollo (I+D) hacia los procesos del sector de semiconductores, reorientar las actividades de I+D existentes para desarrollar la capacidad de las empresas hacia el sector de semiconductores, buscar la transferencia de tecnología por mandato contractual, y fortalecer la protección de la propiedad intelectual (PI).
5. **Emprendimiento.** Crear o reorientar mecanismos de financiamiento hacia nuevas empresas e incubadoras que contribuyan a la innovación en las cadenas de suministro de semiconductores. Generar incentivos y sensibilizar sobre la adopción de prácticas de integridad interna que generen la

confianza necesaria para establecer asociaciones a largo plazo. Estas prácticas incluyen códigos de conducta, protocolos anticorrupción, protección de la propiedad intelectual, confidencialidad y denuncia de irregularidades.

6. Sostenibilidad. Identificar las prácticas de "economía circular" -por ejemplo, reciclaje y reutilización- que son priorizadas por las empresas ancla, y vincular a los proveedores reales o potenciales con programas universitarios y de pasantías de prácticas de sostenibilidad económica.

Cada estado de la República Mexicana que desee establecer o ampliar su papel en la cadena de suministro de semiconductores de Norteamérica debe emprender acciones específicas que aborden estos retos. Hacerlo de manera efectiva implicará establecer una comunicación sólida y una colaboración sostenida entre instituciones del sector privado, gobiernos (locales y federal), y comunidades académicas y de investigación.





I. CADENA DE VALOR DE SEMICONDUCTORES

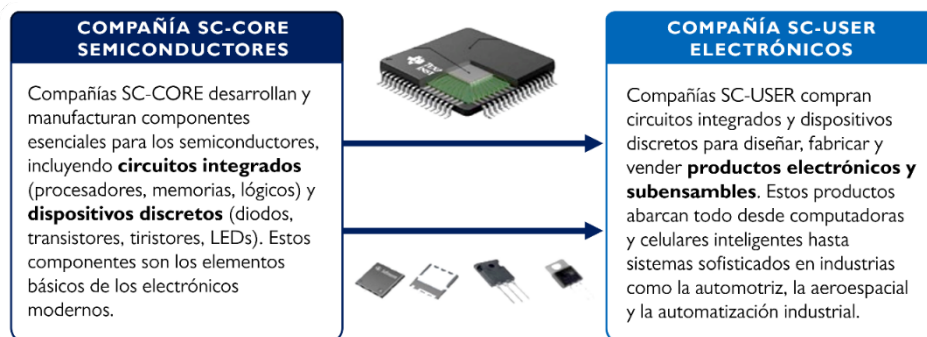
Desde las computadoras personales hasta los chips de memoria, el comercio de productos electrónicos desempeña un papel vital en la economía mundial. Según el *McKinsey Global Institute*, las exportaciones mundiales de productos electrónicos alcanzaron los 4,18 miles de millones de dólares en 2022, superando en ese mismo año los 3,3 miles de millones de dólares de la economía de California. La globalización ha transformado la producción del modelo tradicional lineal -en el que todo ocurría dentro de un solo país- a una red de suministro más compleja e interconectada en la que intervienen diversos países, especializaciones y capacidades. Por tanto, la cadena mundial de suministro de semiconductores es extremadamente compleja y algunas empresas desempeñan varias funciones clave, mientras que otras están altamente especializadas en una sola función. Sin embargo, ninguna empresa por sí sola y, de hecho, ningún país por sí solo puede proporcionar todos los requerimientos de la cadena de suministro de semiconductores.

En cada etapa de la cadena de valor de semiconductores, existen decenas de especializaciones (véase el Anexo 2) siendo una de ellas el diseño de chips analógicos o digitales. Mientras que, a nivel de manufactura, las especializaciones tienen un rango que va desde la fabricación de semiconductores discretos, como un solo transistor o diodo microscópico, hasta chips con miles de semiconductores discretos en un solo producto, como los que usan los teléfonos inteligentes. Estos dos segmentos, los dispositivos de semiconductores discretos y los circuitos integrados electrónicos, son conocidos colectivamente como SC-CORE.

Estas especializaciones a menudo están traslapadas y requieren habilidades en ciencias multidisciplinarias y en distintos campos tecnológicos simultáneamente. Los avances en semiconductores promueven la aparición de nuevas especializaciones y conocimientos interdisciplinarios que impulsan a todos los sectores industriales. En muchas ocasiones, los productos que surgen de estas etapas especializadas eventualmente se incorporan al sector manufacturero más amplio. Por ejemplo, los vehículos modernos dependen en gran medida de la electrónica avanzada y de los componentes de semiconductores para los sistemas de infoentretenimiento, asistencia al conductor, seguimiento, conectividad, etcétera. Este sector dependiente de semiconductores es conocido como SC-USER.

Este mapa de ruta se enfoca en el sector y la cadena de valor SC-CORE. Sin embargo, en la Figura 1 se muestra la interdependencia entre las empresas SC-CORE y SC-USER. Mientras que las empresas SC-CORE diseñan y producen los chips, las empresas SC-USER generan la demanda que impulsa la innovación y la producción.

Figura 1. Definición del perfil empresarial de la industria de semiconductores



Fuente: FUMEC

En el contexto mexicano, la colaboración entre ambos segmentos es crucial para alcanzar dos objetivos: el primero es **fortalecer la industria electrónica nacional**. Una sólida base del sector SC-USER –en este caso, la industria electrónica– puede beneficiarse de las actividades locales de semiconductores (por ejemplo, mediante la reducción de costos o del tiempo de realización), incentivando así el establecimiento de empresas SC-CORE en México y fomentando un ecosistema norteamericano de semiconductores en torno a nuevas fábricas establecidas en Estados Unidos. El segundo objetivo es mejorar la habilidad local en el diseño de chips, especialmente para su uso en dispositivos que incorporen semiconductores de baja tecnología pero que añaden valor dentro del ecosistema norteamericano de semiconductores. Las empresas SC-USER pueden asociarse con universidades e instituciones de investigación para concentrar y desarrollar la capacidad tecnológica de su fuerza laboral (ingenieros y técnicos), contribuyendo directamente a la creación de especificaciones y funciones del segmento SC-CORE.

1.1. Etapas de la cadena de valor de semiconductores

Para maximizar su potencial de integración en la cadena de valor de semiconductores, los actores locales deben entender en dónde encajan. Por lo general, las instalaciones actuales, los recursos y las habilidades locales determinarán qué etapas de la cadena de suministro serán las más adecuadas para localidades específicas. Los destinos de *nearshoring* como México –específicamente, los estados de la República Mexicana con mayor presencia de *nearshoring*– serán más adecuados para algunas etapas que para otras. Algunas etapas de la cadena de suministro están fuera del alcance de determinados estados o regiones. Por ejemplo, sólo unas jurisdicciones, entre ellas Estados Unidos, Taiwán y Corea del Sur, pueden aspirar actualmente a fabricar los chips de Inteligencia Artificial (IA).

Este mapa de ruta describe las etapas de la cadena de valor de semiconductores en seis dominios: cuatro de ellos provenientes del Mapa de Ruta Económica Nacional de Semiconductores de Estados Unidos (NSER) y fueron añadidos dos más –innovación y sostenibilidad– que son cruciales para la contribución de valor de México a la cadena de suministro de semiconductores. Cada dominio interactúa con las diferentes etapas de la cadena de valor, dando como resultado la matriz “Marco de la Cadena de Valor Extendida del MNSR”. La Figura 2 presenta los dominios y etapas que conforman la cadena de semiconductores en su totalidad.

Figura 2. Marco de la cadena de valor extendida del MSNR



Fuente: FUMEC con base en el Marco de la Cadena de Valor de la NSER de Estados Unidos.

Es importante considerar las intersecciones entre todos los dominios y etapas. Para insertarse en la cadena de suministro de semiconductores en México (y en cualquier otro lugar, de hecho), los actores privados deben situarse en un punto (o puntos) concreto de esta matriz y justificar su posicionamiento.

Por ejemplo, la fabricación es sin duda la etapa más difícil y costosa de la cadena de suministro. En concreto, requiere acceso a: 1) maquinaria altamente especializada para poder situarse en el dominio de infraestructura; 2) operadores especializados en el ámbito de la fuerza laboral; 3) materia prima y gases de alta pureza en el ámbito de la cadena de suministro; 4) especialistas en materiales para avanzar en los procesos de fabricación, en el ámbito de la innovación; 5) *startups* especializadas en emprendimiento; y 6) suministros de energía limpia en cuanto a sustentabilidad. La siguiente tabla describe la capacidad instalada, la fuerza laboral y los requerimientos de inversión que aplican a las principales etapas de la cadena de valor extendida de semiconductores del MNSR.

Tabla I: Capacidades necesarias por etapa de la cadena de valor de semiconductores

Etapa	Intensidad	Requerimientos de instalación	Talento y otros requerimientos	Ejemplos de rangos de inversión
R&D Investigación y Desarrollo	Conocimiento	<p>Cuartos limpios</p> <p>Equipo de manufactura para nodos maduros de circuito integrado entre 28-150 nm para nodos maduros de (no disponibles en México)</p> <p>Sistemas micro-electromecánicos de equipos o sensores (MEMS) de 200-600 nm.</p> <p>Laboratorios de diseño y pruebas: Equipo de metrología; licencias de software de simulación y automatización y modelado de diseño electrónico (EDA). Acceso a servicios de oblea (<i>wafers</i>) para multiproyectos.</p>	<p>Postgrado en electrónica, física de semiconductores, materiales, química, nanotecnología.</p> <p>Fondos y/o plan de sostenibilidad para el mantenimiento y actualización de equipos, materias primas y costos recurrentes de licencias.</p>	<p>India: \$1 billón de dólares para laboratorios de semiconductores para fabricar nodos avanzados.</p> <p>México: \$15 millones de dólares para un cuarto limpio moderno para prototipar sensores en el rango de 200-500 micrones.</p>
Diseño y validación	Conocimiento	<p>Software EDA: Bibliotecas de IP, estaciones de trabajo de diseño</p> <p>Internet de banda ancha</p> <p>Kits de Diseño de Procesos (PDK) específicos para manufactura de circuitos integrados.</p>	<p>Graduados de carreras o posgrados en ciencias e ingenierías, especialmente en semiconductores y electrónica. Con conocimientos en microelectrónica y software para descripción de lenguaje.</p> <p>Son necesarios, programas de entrenamiento orgánicos, son necesarios.</p>	<p>Barcelona invertirá 400 millones de euros en un nuevo centro de diseño de un IDM global importante a lo largo de 10 años (50% Intel, 50% gobierno de España).</p> <p>En México una PYME de 10-20 diseñadores cubriría los costos principales: licencias de EDA, IP y PDK cubiertos. Inversión inicial de aproximadamente \$200,000 dólares.</p>



Etapa	Intensidad	Requerimientos de instalación	Talento y otros requerimientos	Ejemplos de rangos de inversión
Materiales	Materia prima	Equipo para extraer, procesar y refinar minerales y gases de alta pureza, de la mejor calidad.	Doctorados, maestría, e ingenierías en minería, civil, química y ambiental, geología. Técnicos y operadores: topografía, construcción, blasters, transporte, etc.	\$1.5 billones de dólares para de inversión en infraestructura de la Estrategia canadiense de minerales críticos 2022. Abrir una mina y una planta de separación puede costar entre \$500 millones a \$1 billón de dólares, dependiendo del grado, tipo y ubicación de mineral, etc.
Fabricación	Capital	Planta de fabricación (foundry). Cuartos limpios Equipo de fotolitografía con láser y haz iónico; deposición de vapor; grabado; filtración de aire y agua, y entre otros.	Postgrados en ciencias e ingeniería en física de semiconductores, materiales y nanotecnología. Técnicos especializados en operación, calidad y producción.	\$10-20 billones de dólares para construir una planta de última generación (por ejemplo, 3 nm), De acuerdo con estimaciones, menos de 10 empresas en todo el mundo tienen ese tipo de capital. Por lo general, los gobiernos contribuyen con el 30% - 40% del costo total.
Ensamblaje, pruebas y empaquetado (ATP)	Talento para circuitos integrados <i>legacy</i> Capital para circuitos integrados avanzados	Cuartos limpios Equipo: corte de obleas (<i>wafers</i>), conexión por montaje por giro de chip (<i>wire bonding of flip chip</i>), montaje de chips (<i>chip attachment</i>), moldeo por inyección y sellado hermético, pruebas.	Talento: Ingenieros en materiales y electrónica. Gente con posgrados para empaques a la medida o avanzados.	Una planta de última generación de ATP puede costar desde \$300 millones hasta \$1 billón de dólares Una línea de producción de empaques de bajo volumen y no automatizada puede costar menos de \$2 millones de dólares.
Distribución	Comercialización	Bodegas y unidades logísticas Internet de banda ancha Red global de oficinas, cercanas a los proveedores o fabricantes y clientes	Talento para compras Servicio al cliente: Ventas y soporte técnico) Finanzas y administración: logística, envíos, tecnologías de la información, manejo de inventarios.	Para distribuido mayorista, que ya cuenta con una infraestructura global, una oficina de distribución y ventas en un nuevo país, puede costar entre decenas de miles y millones de dólares, dependiendo del alcance y la escala de sus operaciones.

Fuente: FUMEC

En la Figura 3, el primer escalón -de abajo hacia arriba- abarca las etapas iniciales, que a menudo están más allá de la industria de semiconductores. Estas etapas incluyen a quienes realizan investigación y diseño (I+D), los mineros que extraen los materiales necesarios y los profesores que forman a los ingenieros que integrarán la fuerza laboral de semiconductores. Las etapas industriales del proceso -las 3 primeras columnas arriba del primer escalón- pueden dividirse en tres segmentos principales: 1) diseño de semiconductores en una *fabless*¹; 2) producción en una fábrica de semiconductores o *foundry*²; y 3) pruebas en una empresa de ensamblaje y pruebas de semiconductores (OSAT)³. Mientras que el fabricante de dispositivos integrados (IDM) participa en todo el proceso de la cadena de suministro de semiconductores. La distribución -cuarta columna- es competencia de operadores

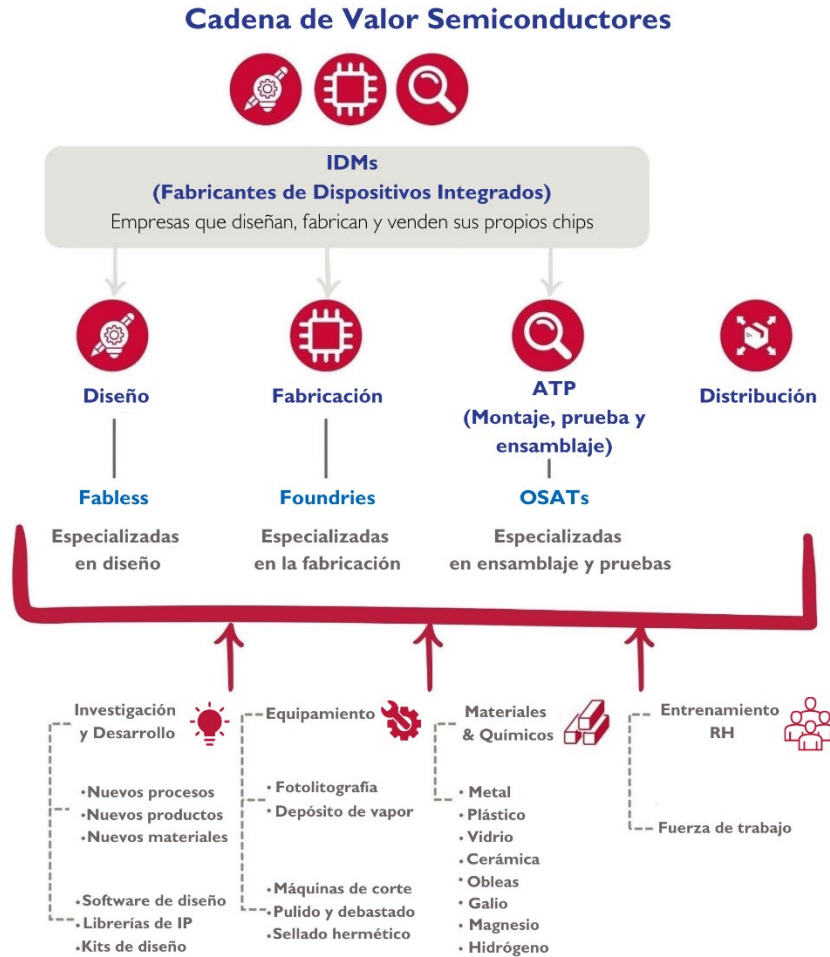
¹ Fabless, en inglés, se refiere a una empresa "sin planta de fabricación" que diseña microchips pero subcontrata la producción en lugar de tener su propia fábrica.

² Foundry: Empresa que fabrica productos semiconductores como servicio. Producen chips, pero no los diseñan.

³ Empresa OSAT: Empresa centrada en los procesos de ensamblaje, prueba y empaquetado (ATP).

logísticos 3PL y 4PL que canalizan los semiconductores hacia sus clientes del sector SC-USER. La figura 3 muestra las interacciones entre las etapas de la cadena de valor.

Figura 3. Interacción de la cadena de valor semiconductores del MNSR



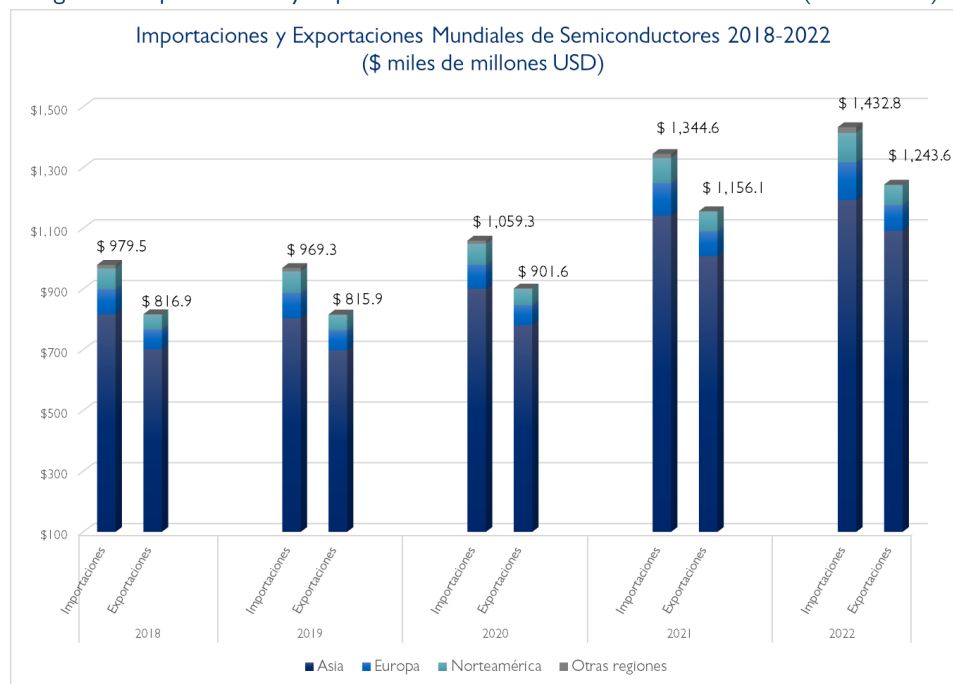
Fuente: FUMEC

1.2. Panorama del comercio mundial de semiconductores

Asia domina la cadena mundial de suministro de semiconductores, lo que plantea riesgos críticos para el resto del mundo. Sin embargo, el papel preponderante de Asia también presenta oportunidades para otras regiones bien posicionadas que buscan beneficiarse de las inversiones en *nearshoring*. El comercio internacional de semiconductores es complejo debido a la especialización, la dispersión geográfica, los requerimientos de alta tecnología y los factores geopolíticos. Aunado a lo anterior, las importantes diferencias económicas y de desarrollo entre los tres países que integran Norteamérica añaden complejidad a los esfuerzos de relocalización. El mapeo de los flujos comerciales mundiales de semiconductores implica un análisis a profundidad de las importaciones y exportaciones internacionales de varios tipos de componentes producidos en diferentes regiones. Este análisis puede ayudar a comprender la dinámica del mercado mundial, y mejorar la identificación de vacíos y oportunidades de crecimiento e innovación en Norteamérica.

La figura 4 muestra el comercio mundial de circuitos integrados electrónicos (CI), -microchips- y dispositivos de semiconductores discretos. A diferencia de los CI complejos, los dispositivos discretos son componentes electrónicos individuales con funciones específicas. Algunos ejemplos son los transistores, que son los componentes básicos que controlan el flujo de corriente, y los diodos, que actúan como válvulas unidireccionales (para rectificación, LED y regulación de voltaje). La figura 4 – abajo– muestra el grado de dominio asiático en las importaciones y exportaciones de semiconductores.

Figura 4. Importaciones y exportaciones mundiales de semiconductores (2018–2022)



Fuente: FUMEC, elaborado a partir de los conjuntos de datos de TradeMap

Además, la gráfica resalta una cuestión crítica: a pesar del aumento de valor de las importaciones y exportaciones a lo largo del tiempo, la distribución geográfica de estas actividades ha permanecido relativamente inalterada. Esta persistencia muestra que, si no se toman medidas concretas para reubicar la producción, es probable que continúe la dinámica actual. En consecuencia, la cadena de suministro sigue siendo vulnerable a futuras perturbaciones, como emergencias de salud pública, conflictos geopolíticos y catástrofes naturales.



2. CADENA DE SUMINISTRO DE SEMICONDUCTORES EN NORTEAMÉRICA

Las industrias maduras, cuya mayoría consumen semiconductores (SC-USER), dominan las cadenas de suministro norteamericanas. El reto de Norteamérica consiste en aprovechar los sectores industriales existentes para transformar la región en un actor importante del sector SC-CORE. El propósito del MNSR es identificar y promover la participación de México en una cadena de suministro de semiconductores cada vez más regionalizada.

El aspecto regional es crucial porque las prioridades de la cadena de suministro, tanto gubernamentales como empresariales, están cambiando. Si bien, la globalización garantizaba altos niveles de eficiencia, actualmente, la regionalización prioriza la resiliencia y la fiabilidad. Antes de la década de 2020, el *nearshoring* de semiconductores en México parecía menos atractivo para aquellos fabricantes centrados en la reducción de costos, dado que la integración globalizada de semiconductores permitía a las empresas capitalizar las ventajas comparativas económicas tradicionales. Sin embargo, la historia reciente ha demostrado que las extensas cadenas de suministro internacionales son vulnerables a cuellos de botella e interrupciones que pueden paralizar sectores enteros. En particular, la pandemia de COVID-19 expuso graves deficiencias en el sistema de suministro mundial. A medida que aumentaba la demanda de componentes de semiconductores para la digitalización de las empresas y el trabajo a distancia, otros sectores enfrentaron un suministro deficiente. La escasez de semiconductores en 2021 costó a la industria automovilística mundial más de 200,000 millones de dólares.

Dado el atractivo de México como destino de inversión *nearshoring*, es indispensable comprender las dinámicas comerciales y de producción que definen la cadena de suministro de Norteamérica. La Tabla 2 muestra la división de la cadena de suministro de semiconductores entre México, Estados Unidos y Canadá. Un hallazgo clave es que las importaciones y exportaciones de semiconductores muestran una actividad comercial dinámica entre industrias maduras mexicanas y estadounidenses que utilizan semiconductores como empresas SC-USER. El reto consiste ahora en expandirse regionalmente hacia el sector SC-CORE.



Tabla 2: Mapeo de las importaciones de semiconductores en América del Norte (2022)

IMPORTACIONES/ EXPORTACIONES SEMICONDUCTORES (2022)	IMPORTACIONES		EXPORTACIONES	
	USD \$B	%Total	USD \$B	%Total
GLOBAL	\$1,432.83	100.00%	\$1,243.60	100.00%
DESDE/HACIA ASIA	\$1,192.47	83.23%	\$1,091.46	87.77%
DESDE/HACIA PAÍSES DE N.A.	\$96.40	6.73%	\$66.19	5.32%
DESDE/HACIA RESTO DEL MUNDO	\$143.95	10.05%	\$85.95	6.91%
NORTEAMÉRICA	\$96.40	100.00%	\$66.19	100.00%
DESDE/HACIA ASIA	\$82.98	86.08%	\$36.45	55.08%
DESDE/HACIA PAÍSES DE N.A.	\$5.28	5.47%	\$20.52	31.00%
DESDE/HACIA RESTO DEL MUNDO	\$8.15	8.45%	\$9.22	13.93%
MÉXICO 	\$30.94	100.00%	\$4.89	100.00%
DESDE/HACIA ASIA	\$27.31	88.25%	\$0.83	16.86%
DESDE/HACIA PAÍSES DE N.A.	\$1.90	6.14%	\$3.91	80.00%
DESDE/HACIA RESTO DEL MUNDO	\$1.74	5.61%	\$0.15	3.13%
ESTADOS UNIDOS 	\$61.67	100.00%	\$59.77	100.00%
DESDE/HACIA ASIA	\$52.58	85.25%	\$35.16	58.83%
DESDE/HACIA PAÍSES DE N.A.	\$2.89	4.69%	\$15.79	26.42%
DESDE/HACIA RESTO DEL MUNDO	\$6.20	10.06%	\$8.82	14.75%
CANADA 	\$3.79	100.00%	\$2.30	100.00%
DESDE/HACIA ASIA	\$3.09	81.67%	\$1.36	58.99%
DESDE/HACIA PAÍSES DE N.A.	\$0.48	12.80%	\$0.66	28.91%
DESDE/HACIA RESTO DEL MUNDO	\$0.21	5.53%	\$0.28	12.11%

N.A. = Norteamérica

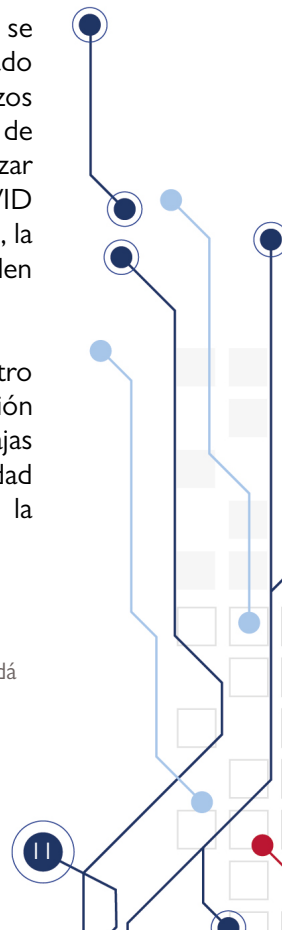
Fuente: FUMEC, elaborado a partir de los conjuntos de datos de TradeMap

2.1. Distribución de la cadena de suministro de semiconductores en Norteamérica

Todo esfuerzo por ampliar la cadena de suministro debe considerar el contexto en el que se desarrollará. De acuerdo con el *International Data Corporation* (diciembre 2023), China ha ampliado rápidamente su capacidad de producción del segmento SC-CORE, lo que podría socavar los esfuerzos de Norteamérica por construir su industria doméstica. Sin embargo, incluso si la demanda de semiconductores fuera satisfecha con la producción asiática, seguiría habiendo beneficios de relocalizar la capacidad de SC-CORE a Norteamérica. El cuello de botella revelado por la pandemia de COVID 19, las crecientes tensiones geopolíticas y los riesgos de seguridad, recalcan esta necesidad. Además, la demanda futura de semiconductores crecerá junto con la rápida expansión de industrias que dependen de los chips, como la inteligencia artificial y la robótica.

Dada esta dinámica de producción, es necesario identificar primero las brechas y oportunidades dentro de la cadena de valor de semiconductores en Norteamérica para hacer crecer la industria de la región de la forma más eficiente y competitiva posible.⁴ Cada país de Norteamérica presenta ventajas competitivas, así como áreas de oportunidad. Al cotejar las oportunidades de mercado con la capacidad localizada de semiconductores, es posible identificar opciones de participación entrelazadas en la cadena de suministro regional.

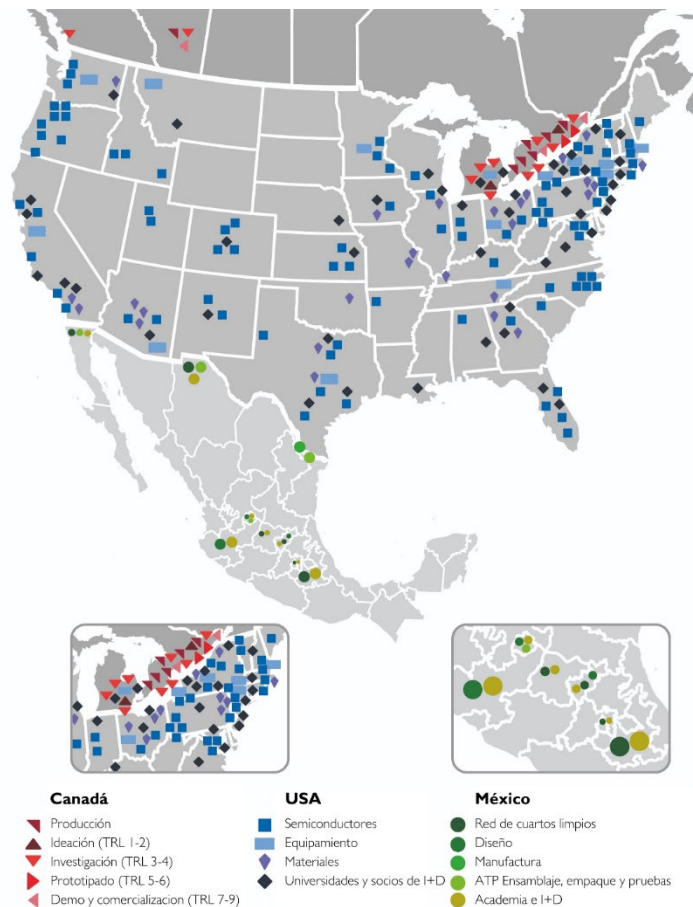
⁴ Nuestro análisis del sector de semiconductores en Norteamérica se basa en un mapeo exhaustivo de datos y en la retroalimentación de entidades gubernamentales, académicas y de la industria privada en México, Estados Unidos y Canadá a lo largo de las etapas de la cadena de suministro.



La importancia de la distribución de la cadena de suministro existente no debe subestimarse. La integración sirve como consideración estratégica y promete una mayor eficiencia comparada con la eficiencia que podría tener cada país actuando aisladamente. La figura 5 destaca las posibles sinergias en torno a corredores de la cadena de suministro de semiconductores que hasta ahora no se habían considerado, como el que recorre la costa oeste desde Vancouver a Tijuana. Las sinergias de la cooperación binacional surgirán al combinar capacidades y crear un bloque comercial más competitivo en los mercados nacionales e internacionales, como ya sucede en la mega región de CaliBaja en la frontera entre Estados Unidos y México. Esta cooperación binacional es detallada en la siguiente sección de este documento. Norteamérica representa casi el 17% de la masa terrestre del mundo, creando oportunidades inigualables de proximidad. Tal como lo señaló un ejecutivo de una empresa de semiconductores de San Diego, California, la asociación con México "me da la oportunidad de ir a [nuestras operaciones en] Tijuana y volver a casa".

Aunque ambicioso, este tipo de integración regional se ve limitada por la forma en que los países norteamericanos clasifican por separado sus propias operaciones de semiconductores sin tomar en cuenta el panorama regional. Este mapa de ruta sugiere estandarizar los sistemas de clasificación de México, Estados Unidos y Canadá para mejorar enormemente la cooperación. La Figura 5 señala y describe las capacidades y operaciones relevantes de cada país norteamericano, destacando las diferencias en la identificación de estas capacidades.

Figura 5. Distribución de la cadena de suministro de semiconductores en Norteamérica



Fuente: FUMEC basado en el NSER, el Plan de Acción de Semiconductores de Canadá y la propia Cartografía Industrial.

Este mapa permite visualizar todo el potencial de los corredores de semiconductores para crear un ecosistema de suministro norteamericano. Aunque la región cuenta con importantes ventajas competitivas para atraer inversiones en semiconductores, y garantizar un abastecimiento confiable y eficiente, también enfrenta obstáculos que se deben atender para alcanzar este potencial. La siguiente tabla ofrece un breve análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA) que identifica las condiciones que favorecen y limitan a la región para convertirse en una potencia de semiconductores.

Tabla 3: Análisis FODA de la industria de semiconductores en Norteamérica

Fortalezas	Debilidades
<p>Liderazgo tecnológico: Muchas de las principales empresas de semiconductores del mundo con sede en Estados Unidos impulsan la I+D y la innovación.</p> <p>Presencia sectorial diversa: La diversidad del sector SC-USER de México ayuda a distribuir el riesgo y proporciona múltiples fuentes de ingresos.</p> <p>Fuerza laboral calificada: Estados Unidos y Canadá cuentan con una fuerza laboral cualificada en STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas), e investigación e ingeniería en semiconductores. Las competencias de México en diseño e ingeniería han crecido en la última década debido a su presencia sectorial cada vez más sofisticada.</p> <p>Infraestructura sólida: Esto incluye infraestructura dura y blanda y las nuevas fábricas de semiconductores en Estados Unidos.</p> <p>Acceso al capital: Estados Unidos y Canadá tienen acceso a capital e inversiones en la industria de semiconductores, lo que apoya el liderazgo en innovación y el crecimiento.</p>	<p>Migración de la manufactura a Asia: Una parte sustancial de la manufactura de semiconductores ha sido trasladada al extranjero, debido a menores costos de producción y al fuerte apoyo de políticas e incentivos gubernamentales en Asia del Este. Esta migración de capacidades redujo la participación estadounidense, creando una fuerte dependencia de Asia.</p> <p>Vulnerabilidades derivadas de la concentración de semiconductores de Asia: Las tensiones comerciales, los controles y el aumento de los costos de transporte desde Asia han generado desafíos, impactando en los flujos comerciales continuos de semiconductores.</p> <p>Falta de financiamiento en México: El financiamiento está limitado a inversiones privadas de <i>nearshoring</i> e incentivos del gobierno federal y estatal.</p> <p>Barreras de inversión: Las regiones industriales importantes, como el Bajío Mexicano y ambos lados de la frontera entre México y Estados Unidos, enfrentan posibles intermitencias y escasez de suministro de energía y agua, infraestructura inadecuada y/o problemas de seguridad.</p>
Oportunidades	Amenazas
<p>Crecimiento de las tecnologías de vanguardia: Tecnologías como el 5G, la IA y el Internet de las Cosas (IoT) pueden impulsar la demanda de componentes y aplicaciones avanzadas de semiconductores.</p> <p>Diversificación de la cadena de suministro: Las iniciativas de relocalización abren oportunidades sustanciales para crear un ecosistema norteamericano, que eventualmente abran nuevas fábricas en México y Canadá.</p> <p>Fuerza laboral: Canadá y México pueden complementar la actual fuerza laboral calificada de Estados Unidos, en particular para las etapas de materiales y ATP de semiconductores.</p> <p>Apoyo gubernamental: Los gobiernos de EE. UU. y Canadá ofrecen incentivos e inversiones en investigación y fabricación de semiconductores.</p>	<p>Problemas de integridad: La competencia alimenta las disputas sobre patentes e incentiva el robo de Propiedad intelectual (PI) mediante ciberataques o espionaje industrial. Las preocupaciones por la seguridad nacional y las tensiones geopolíticas pueden provocar restricciones a las inversiones extranjeras, obstaculizando la colaboración. La naturaleza compleja y global de la cadena de suministro introduce vulnerabilidades como controles internos débiles. La visibilidad limitada puede dejar margen para la falsificación de componentes o la violación de datos.</p> <p>Volatilidad financiera y de mercado: La industria de semiconductores es cíclica, por lo que es susceptible a las recesiones económicas. Además, los países con sector SC-CORE pueden manipular sus divisas, y lo han hecho, para abaratar sus productos.</p> <p>Vulnerabilidad de la cadena de suministro: La industria sigue siendo vulnerable a las perturbaciones derivadas de las tensiones geopolíticas, los problemas del</p>


	<p>comercio mundial, los factores climáticos y las emergencias de salud pública, todo lo cual puede afectar a la producción norteamericana de segmentos SC-CORE y SC-USER.</p> <p>Cambios en la administración: Los riesgos potenciales de una política restrictiva tras las elecciones presidenciales de 2024 en México y Estados Unidos podrían afectar al crecimiento de semiconductores en Norteamérica.</p>
--	---


Fuente: FUMEC


A diferencia de muchos otros gráficos FODA, en los que las fortalezas y las oportunidades contrarrestan las debilidades y las amenazas, el escenario actual revela que factores como las arriesgadas cadenas de suministro existentes y las preocupaciones por la integridad son en realidad argumentos a favor de la relocalización de los semiconductores a Norteamérica. En última instancia, esta dinámica convierte a México y a la región en una opción estable: cuanto peor es la situación mundial, más atractiva parece Norteamérica como mercado integrado.


2.2. Aprovechando los recursos de semiconductores de Norteamérica

Estados Unidos y Canadá tienen centros y programas especializados que ayudan a fomentar la tecnología de semiconductores en toda Norteamérica. La creciente reubicación en México de empresas globales relacionadas con la industria de los semiconductores ofrece al país la oportunidad de profundizar su participación en la cadena de suministro. Los siguientes mecanismos ilustran la forma en que México podría aprovechar los recursos institucionales regionales para convertirse en un actor más importante del segmento SC-CORE:

- 

Centros universitarios de investigación: Estos centros realizan investigación avanzada, colaboran con socios industriales y ofrecen programas educativos especializados, como el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV Guadalajara) en el estado de Jalisco.
- 

Asociaciones público-privadas: Estas asociaciones incluyen esfuerzos de colaboración entre organismos gubernamentales, empresas privadas y la academia para ampliar los límites de la tecnología de semiconductores y sus aplicaciones. Un ejemplo es el laboratorio especializado de la Universidad Autónoma del Estado de Baja California (UABC) patrocinado por Skyworks.
- 

Iniciativas de investigación financiadas por el gobierno: Si bien no están centralizadas en una sola ubicación, estas iniciativas pueden implicar a varias instituciones que trabajan juntas en Desarrollo e Investigación (I+D), como el Laboratorio Nacional del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología en Microtecnologías y Semiconductores (LaNMISe) del CONAHCYT en Chihuahua, financiado por el gobierno federal.
- 

Consortios liderados por la industria: Estas alianzas institucionales ayudan a fomentar la tecnología de semiconductores, la innovación, establecer normas y promover la participación en el mercado nacional e internacional. La Asociación de la Industria de Semiconductores (SIA)



de Estados Unidos y el Consejo de Semiconductores (CSC) de Canadá son dos ejemplos. La Asociación SEMI⁵ establece estándares globales para múltiples etapas de la cadena de valor extendida desde los Materiales hasta las etapas ATP. En México actualmente no existe una Asociación de Semiconductores especializada; sin embargo, la Cámara Nacional de la Industria Electrónica (CANIETI) supervisa la industria.



Clústeres industriales: Estas concentraciones geográficas de la industria reúnen a las partes interesadas locales para compartir información sobre iniciativas regionales, recabar opiniones y supervisar los indicadores clave de rendimiento para optimizar las operaciones de la cadena de suministro e impulsar la mejora continua. En México, los ejemplos incluyen las redes nacionales de clústeres de la industria automotriz (REDCAM) y la tecnología de la información (MxTI), que ya formó una Comisión Nacional de semiconductores.

2.3. La alineación actual de México con las cadenas de suministro de Norteamérica

La posición actual de México dentro de la cadena de suministro de semiconductores en Norteamérica no está tan desarrollada como podría o debería, y por ende, para maximizar la capacidad de la región como potencia de semiconductores. Varios sectores manufactureros podrían beneficiarse de cadenas de suministro norteamericanas maduras, aprovechando las eficiencias de costos de México y las capacidades especializadas de Estados Unidos y Canadá.

Muchos de los recursos necesarios ya existen total o parcialmente: redes de transporte eficientes que incluyen el transporte por carretera, ferrocarril, puertos y carga aérea, facilitan el movimiento de mercancías a través de las fronteras. Los procedimientos y reglamentos aduaneros que operan en el marco del acuerdo comercial T-MEC han madurado a lo largo de los años, y son cruciales para el crecimiento uniforme de la cadena de suministro norteamericana.

Los retos regionales también son claros. Los esfuerzos para fortalecer y optimizar la cadena de suministro norteamericana deben centrarse en aumentar la eficiencia, reducir los costos, garantizar el cumplimiento normativo, garantizar la seguridad regional y mejorar la capacidad de resiliencia ante las perturbaciones. Este mapa de ruta identifica las áreas de la cadena de suministro con mayor potencial para la región:

- **Diseño e Ingeniería:** México y Canadá comparten diversos niveles de actividad en el diseño de circuitos integrados y la creación de prototipos de futuros desarrollos, lo cual ofrece una oportunidad única para apoyar actividades específicas estadounidenses relacionadas con el diseño, que aumentarán la destreza y la infraestructura de fabricación de circuitos integrados de Estados Unidos. México y Canadá cuentan actualmente con una gran reserva de talentos en ingeniería con las competencias fundamentales para complementar las necesidades de Estados Unidos. Esto representa la oportunidad de formarlos en especialidades específicas de semiconductores.

⁵ SEMI Association es una asociación del sector de la microelectrónica para el avance de la cadena de suministro mundial de semiconductores. <https://www.semi.org/en>



- **Abastecimiento de materiales y equipos:** La proximidad a Estados Unidos da a México y Canadá ventajas sobre Asia en el abastecimiento de ciertos materiales, especialmente con las nuevas fábricas de semiconductores que se están construyendo en varios estados de Estados Unidos (i.e., Arizona, Texas y Ohio). Por ejemplo, México podría abastecerse competitivamente de gases como el Argón para proporcionar las atmósferas inertes necesarias para la producción de chips en Estados Unidos. México ya produce Argón, pero no con la pureza necesaria para la fabricación de circuitos integrados.
- **Fabricación:** Los semiconductores integrados en productos finales con alto contenido local norteamericano entrarían en una amplia diversidad de productos del sector SC-CORE/ SC-USER fabricados en Canadá y México. En última instancia, estos productos se venden en el país o se exportan a los mercados mundiales, reteniendo valor dentro de la región.
- **Ensamblaje, pruebas y empaquetado (ATP):** Es la etapa de la cadena de suministro que puede instalarse más rápidamente con una inversión relativamente baja. Aunque el término "ensamblaje, pruebas y empaquetado" puede evocar imágenes de un trabajo pesado de baja tecnología y bajos salarios, se trata, de hecho, de una actividad que requiere una sofisticación y habilidades tecnológicas significativas. Por lo tanto, a pesar de la relativa facilidad, accesibilidad y rapidez para establecer estas operaciones en comparación con las fábricas de semiconductores, estas nuevas capacidades del segmento SC-CORE seguirían fomentando empleos mejor remunerados y un mayor contenido local de valor añadido en Norteamérica, en el marco del acuerdo comercial T-MEC. Los componentes producidos en Canadá o importados de otras regiones pueden enviarse a México para su ensamblaje o empaque en productos finales de semiconductores y pruebas *in situ*.
- **Distribución:** A pesar de la complejidad de la logística de semiconductores, implican un bajo volumen físico, por lo que resulta rentable ubicar gran parte de la cadena de suministro al otro lado del mundo. La ventaja de trasladar los semiconductores dentro de Norteamérica radica en gran medida en la fiabilidad y las ventajas normativas. México y Canadá pueden servir como centros de distribución de dispositivos de semiconductores fabricados en el marco del acuerdo comercial T-MEC, que ofrece un tratamiento arancelario favorable a los miembros. Esta estrategia aumenta las exportaciones globales norteamericanas aprovechando su proximidad a las nuevas fábricas de semiconductores estadounidenses.
- **Soporte y servicios postventa:** Para las devoluciones de productos, la asistencia técnica, las reclamaciones de garantía o la eliminación al final de la vida útil, las redes establecidas pueden utilizar prácticas y relaciones para garantizar la manipulación adecuada, el reciclaje o eliminación amigable con el medio ambiente de los productos relacionados con los semiconductores. México y Canadá pueden ofrecer apoyo y servicios postventa para los productos.

Considerando la huella que dejan las empresas mexicanas, que ya participan en la cadena de suministro, resulta crucial fomentar empresas de diseño e ingeniería que complementen los proyectos de diseño de chips estadounidenses en curso o permitan a las empresas estadounidenses reorientar a sus expertos en diseño hacia prioridades de mayor valor añadido. Los proveedores de materiales y ATP también son clave y -de manera crucial- representan la forma más fácil para que México pueda entrar en la cadena de suministro norteamericana de manera rápida y eficaz, a corto y mediano plazo. En la siguiente sección se analizará cómo integrar a México en las etapas de la cadena de valor extendida del mapa de ruta.

3. INTEGRACIÓN DE MÉXICO EN LA CADENA DE SUMINISTRO DE SEMICONDUCTORES

La posición de México en la cadena de suministro global y regional de semiconductores es privilegiada gracias a la infraestructura y demanda existentes del segmento SC-USER, así como al potencial de expansión a corto y mediano plazo en el sector SC-CORE. Las empresas multinacionales ya operan algunas instalaciones de SC-CORE en México, contribuyendo a la producción de una amplia gama de productos como: circuitos integrados lógicos, microprocesadores, chips de memoria y sensores. Algunas empresas realizan procesos de ATP en sus instalaciones en México, mientras que las empresas locales a menudo exportan componentes parcialmente ensamblados o materiales para su integración en productos terminados en otros países. Sin embargo, el objetivo debería ser acelerar el posicionamiento de México en la cadena de suministro mediante el desarrollo de capacidades SC-CORE más avanzadas.

Como el principal socio comercial de México, Estados Unidos se beneficiará del crecimiento de la oferta de SC de su vecino del sur debido a la alta eficiencia del comercio transfronterizo, los menores costos de transporte y la proximidad entre las empresas estadounidenses de SC y los fabricantes de productos electrónicos. Canadá también puede beneficiarse de la cercanía geográfica con México y las preferencias comerciales previstas en el tratado T-MEC, lo que facilita la colaboración en torno a oportunidades especializadas (véase el Anexo 3).

Incluso Asia y Europa podrían beneficiarse de la reubicación del segmento SC-CORE a México. Las empresas de semiconductores provenientes de estas regiones tienen inversiones significativas en la fabricación y el desarrollo tecnológico del sector SC-USER en México. Además, las empresas del segmento SC-CORE altamente avanzadas de estas regiones contribuyen a las etapas más sofisticadas del desarrollo de semiconductores y no deben temer la competencia de México. Esto podría comenzar con diseño básico (i.e., dispositivos discretos) y la etapa de ATP. En este mapa de ruta se identifican tres atributos principales que hacen de México un lugar atractivo para que se produzca esta expansión:



Talento

No es casualidad que México sea el noveno exportador a nivel mundial de productos electrónicos (de acuerdo con datos de McKinsey, 2021). La industria de la fabricación en México es una de las más atractivas del mundo debido a su fuerza laboral competitiva.



Infraestructura básica existente

Además de los recursos relacionados con su infraestructura industrial general, México ya cuenta con instalaciones especializadas en semiconductores, incluidos cuartos limpios y centros de investigación y pruebas.



Tratados comerciales y geografía

Además del T-MEC, en virtud del cual se eliminan los aranceles para la mayor parte del comercio en Norteamérica, México ha firmado 13 tratados de libre comercio con 50 países, así como 29 Acuerdos de Promoción y Protección Recíproca de las Inversiones (APPRI, por sus siglas en inglés).



3.1. Ventajas de establecer etapas de la cadena de suministro de semiconductores en México

Las mayores oportunidades de México en el segmento SC-CORE radican en inversiones económicas, de menor tamaño, tiempo y riesgo que las que implican la fabricación de semiconductores. Estas oportunidades para que México crezca dentro de la cadena de suministro global del segmento SC-CORE se encuentran principalmente en las etapas emergentes de materiales y diseño de tecnología básica, así como en la etapa de Ensamblaje, Prueba y Empaquetado (ATP) de la cadena de suministro. La demanda de semiconductores del país está estrechamente ligada a los productos terminados y subconjuntos para las industrias segmento SC-USER. El camino más claro para desarrollar nuevas capacidades de SC-CORE se basa en el aprovechamiento de las industrias existentes del sector SC-USER y las capacidades de diversificación de las regiones.

Confiabilidad

La presencia a largo plazo de industrias consumidoras de chips no determina por sí misma la preparación para el segmento SC-CORE, pero sin duda ayuda. La cadena de suministro global de semiconductores es eficiente, pero susceptible a perturbaciones. Mantener la proximidad física entre el segmento SC-CORE y los centros de demanda del sector SC-USER garantiza la confiabilidad. Considerando que Norteamérica es un mercado importante del sector SC-USER, existe un sólido argumento comercial para desarrollar y mantener capacidades locales del segmento SC-CORE. Aunque los precios bajos de los chips son importantes, la pandemia ha demostrado que la estabilidad del suministro es el aspecto más importante para el sector SC-USER. Desde una perspectiva comercial, el chip más caro es aquel que no está disponible. Para conocer un análisis más detallado de las características de las infraestructuras y algunos ejemplos, véase el Anexo 4.

Desarrollar la infraestructura existente

México debe aprovechar sus recursos actuales, incluida la energía, el agua, la infraestructura de transporte, los parques industriales y las telecomunicaciones. Una estrategia de diversificación reduciría la excesiva dependencia de la economía mexicana de las maquiladoras, al tiempo que se aprovecharía al máximo la infraestructura valiosa que actualmente se destina a estas. Sin embargo, este planteamiento conlleva desafíos importantes, como se expone en la sección siguiente de este documento.

Escalabilidad progresiva de la inversión

Las fábricas de semiconductores que actualmente se construyen o amplían en Arizona y Texas representan inversiones a largo plazo, multimillonarias, con alta demanda de talento y de alto riesgo. La estrategia de semiconductores de México debe adoptar un enfoque más gradual. Estas son algunas de las ventajas:

1. Umbral de inversión bajo (las etapas de diseño, materiales y ATP son las más económicas de desarrollar en la cadena de suministro).
2. Formación en el puesto de trabajo (México necesita capacitar y utilizar talento simultáneamente a medida que desarrolla el ecosistema de semiconductores).
3. Costo aceptable del fracaso (los costos iniciales de una operación de diseño nueva y de tecnología básica pueden ser tan bajos como \$1 millón, y para ATP, de \$5 millones a \$10 millones de dólares).
4. Implementación más rápida (el plazo para establecer las operaciones de diseño básico, materiales y ATP puede oscilar entre dos y cinco años, en comparación con el establecimiento de una fábrica de semiconductores que lleva una década).

“El componente estratégico que México está sumando a la estrategia general de la empresa es continuar expandiendo al máximo nuestra capacidad de fabricación y avanzar en la incorporación de productos adicionales que se puedan producir y adaptar a las necesidades que estratégicamente hemos pensado.”

Empresa mundial de semiconductores con planta de ATP en México

3.2. Desafíos para establecer etapas de la cadena de suministro de semiconductores en México

Aunque en la sección anterior se exponen las fortalezas de México en determinadas etapas de la actividad SC-CORE, el éxito no está garantizado. México también tiene debilidades que pueden afectar la confianza de los inversionistas potenciales. Sin embargo, estos problemas pueden y deben atenderse.

Infraestructura poco confiable

En la sección anterior se destacaron las ventajas de estar cerca de otros centros de fabricación. Sin embargo, esta proximidad geográfica también significa que el segmento SC-CORE y otras industrias pueden competir por los recursos. Esto supone una desventaja particular en el caso de México, ya que algunas regiones del país tienen un suministro irregular de energía, agua, transporte y telecomunicaciones.

Instalaciones especializadas de semiconductores

La construcción de una instalación de ATP de \$5 millones de dólares por sí sola no es suficiente para poner en marcha un ecosistema de semiconductores. La infraestructura alrededor de ella también debe adaptarse a las necesidades del segmento SC-CORE. México ya cuenta con parte de la infraestructura específica de semiconductores, como es el caso de las siete instalaciones que conforman la red de cuartos limpios, como se muestra en la Figura 6 (siguiente sección). Sin embargo, al ser una red con fines principalmente académicos y educativos, es insuficiente. Gran parte de la infraestructura, como cuartos limpios industriales y equipos especializados, tendrá que construirse desde cero.

Talento humano

A pesar de que en 2021 México fue el tercer país miembro de la OCDE con mayor número de graduados en carreras STEM, el país actualmente necesita producir más ingenieros y técnicos especializados en semiconductores. Salvo por unos cuantos casos puntuales, el sistema educativo de México carece de las especializaciones técnicas necesarias para cumplir incluso con los requerimientos más básicos del segmento SC-CORE. Esta deficiencia no se refiere al personal altamente calificado que se necesita en las fábricas de chips, se refiere al nivel básico de talento necesario para hacer funcionar los ecosistemas locales de semiconductores. En consecuencia, la evolutiva red educativa de México debe atender estos desafíos (por ejemplo, producir un mayor número de técnicos de ATP).

Seguridad

Los observadores económicos reconocen que la seguridad representa un desafío importante para el desarrollo industrial de México. El MNSR se centra en describir factores económicos, técnicos y logísticos que afectan las decisiones de inversión y no proporciona recomendaciones específicas sobre seguridad. Sin embargo, es importante mencionar que las empresas estadounidenses que estén considerando una inversión de largo plazo en México, evaluarán cuidadosamente las implicaciones de los riesgos de seguridad al tomar decisiones de relocalización. La seguridad sigue siendo una preocupación clave para los inversores extranjeros en todo el país. Las instituciones del sector público de México, a nivel nacional y local, deben trabajar con el sector privado para identificar, reducir o evitar amenazas a la seguridad que existen en áreas donde operan actualmente o donde planean comenzar o expandir la producción.

3.3. Oportunidades en el marco de la política pública federal de México

El gobierno federal mexicano puede jugar un papel importante para crear un entorno empresarial favorable para el desarrollo regional de la industria de semiconductores. El decreto presidencial de 2023⁶ fue un buen primer paso para promover la reubicación de industrias específicas a México a través de nuevos incentivos fiscales. Los sectores críticos identificados incluyen el de semiconductores y automotriz (especialmente vehículos eléctricos), equipo eléctrico y electrónico, dispositivos médicos y productos farmacéuticos, la agroindustria y alimentos para consumo humano y animal. El gobierno pretende maximizar la competitividad de México en estos sectores y atraer IED, reconociendo que los SC son esenciales para los productos finales de muchos de los otros sectores identificados.

En marzo de 2024, los gobiernos federales de México y Estados Unidos crearon una alianza que explora oportunidades para expandir y diversificar el ecosistema global de semiconductores bajo el Fondo Internacional de Seguridad e Innovación Tecnológica (ITSI), creado por el *CHIPS Act* de 2022 (véase el Anexo 5). Esta alianza contribuirá a crear una cadena mundial de suministro de semiconductores más resiliente, segura y sostenible, y que iniciará programas de desarrollo de talento con su aliada, la Universidad del estado de Arizona en el otoño de 2024⁷. Recientemente, en 2023, el Gobierno Federal

⁶ El decreto se publicó el 11 de octubre de 2023. *Decreto por el que se otorgan incentivos fiscales a sectores clave de la industria exportadora consistentes en la deducción inmediata de la inversión en bienes nuevos de activo fijo y la deducción adicional de gastos de capacitación.* https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5704676&fecha=11/10/2023#gsc.tab=0

⁷ Nota de prensa del Departamento de Estado de EE. UU. *New Partnership with Mexico to Explore Semiconductor Supply Chain Opportunities* <https://www.state.gov/new-partnership-with-mexico-to-explore-semiconductor-supply-chain-opportunities/>

puso en marcha el Plan Sonora junto con el Estado de Sonora. Este plan es una estrategia presidencial mexicana destinada para impulsar las energías renovables centrándose en el litio, un recurso abundante en el estado y que es fundamental para la producción de baterías de vehículos eléctricos, plantas de energía limpia y determinadas familias de CI.⁸ Previamente, en 2022, la Secretaría de Economía firmó un acuerdo con Intel para la transferencia de recursos de innovación y apoyar la capacitación a largo plazo de talento mexicano altamente especializado en semiconductores a nivel nacional.⁹ En junio de 2024, el gobierno federal mexicano publicó un acuerdo de colaboración entre varias secretarías y organismos gubernamentales clave para promover el desarrollo de la industria de semiconductores en México¹⁰.

Si bien el gobierno nacional de México ha tomado ciertas medidas fiscales necesarias, también deben considerarse las condiciones e impacto regulatorios de los estados. Esto es crucial, ya que las medidas fiscales y el avance lento de las alianzas internacionales por sí solas son insuficientes para atraer inversiones importantes en semiconductores. Juan José Cabrera, experto en regulación y consultor de ProIntegridad, explicó que “los incentivos fiscales son importantes, pero requieren una regulación local sensata e implementada objetivamente para reducir las barreras de entrada a los semiconductores. La reforma regulatoria y la armonización de las regulaciones entre los estados son indispensables para atraer a los actores de la cadena de suministro a México: ninguna empresa se trasladará a un estado sin garantías regulatorias.” En resumen, la implementación de la política federal es necesaria pero insuficiente, especialmente en ausencia de un plan nacional de semiconductores. Por lo tanto, se debe considerar un análisis a nivel estatal y sus recomendaciones correspondientes, como se expone en la siguiente sección. (Para más información, véase el Anexo 6).

3.4. Las regiones del segmento SC-CORE más prometedoras de México

El *nearshoring* de productos electrónicos se da principalmente en dos regiones de México: el Norte y el Bajío. Gran parte de la inversión se concentra en Baja California, uno de los principales centros de fabricación de productos electrónicos en México, con más de 200 empresas. El segundo mayor centro se encuentra en el estado de Jalisco, seguido de Chihuahua, Nuevo León, Sonora, Coahuila y Tamaulipas. En la Figura 6 se observa cómo la infraestructura de semiconductores existente y potencial se concentra principalmente en los estados y subregiones con intensa actividad de *nearshoring* (véase el Anexo 7 para conocer más detalles sobre las empresas e instituciones mapeadas). Este mapa de ruta divide estos estados en tres subregiones: Frontera Norte, Bajío y Zona de Influencia de la Ciudad de México.

⁸ Al momento de redactar este informe, el Plan Sonora se encuentra detenido extraoficialmente, e incluso la página web oficial está inactiva.

⁹ *La Secretaría de Economía e Intel apuestan por el fortalecimiento de la cadena de suministro de semiconductores en México* <https://www.gob.mx/se/es/articulos/la-secretaria-de-economia-e-intel-apuestan-por-el-fortalecimiento-de-la-cadena-de-suministro-de-semiconductores-en-mexico-299721?idiom=es>

¹⁰ Decreto publicado el 5 de junio de 2024. Convenio de colaboración para impulsar el desarrollo de la industria de semiconductores https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5729560&fecha=05/06/2024#gsc.tab=0



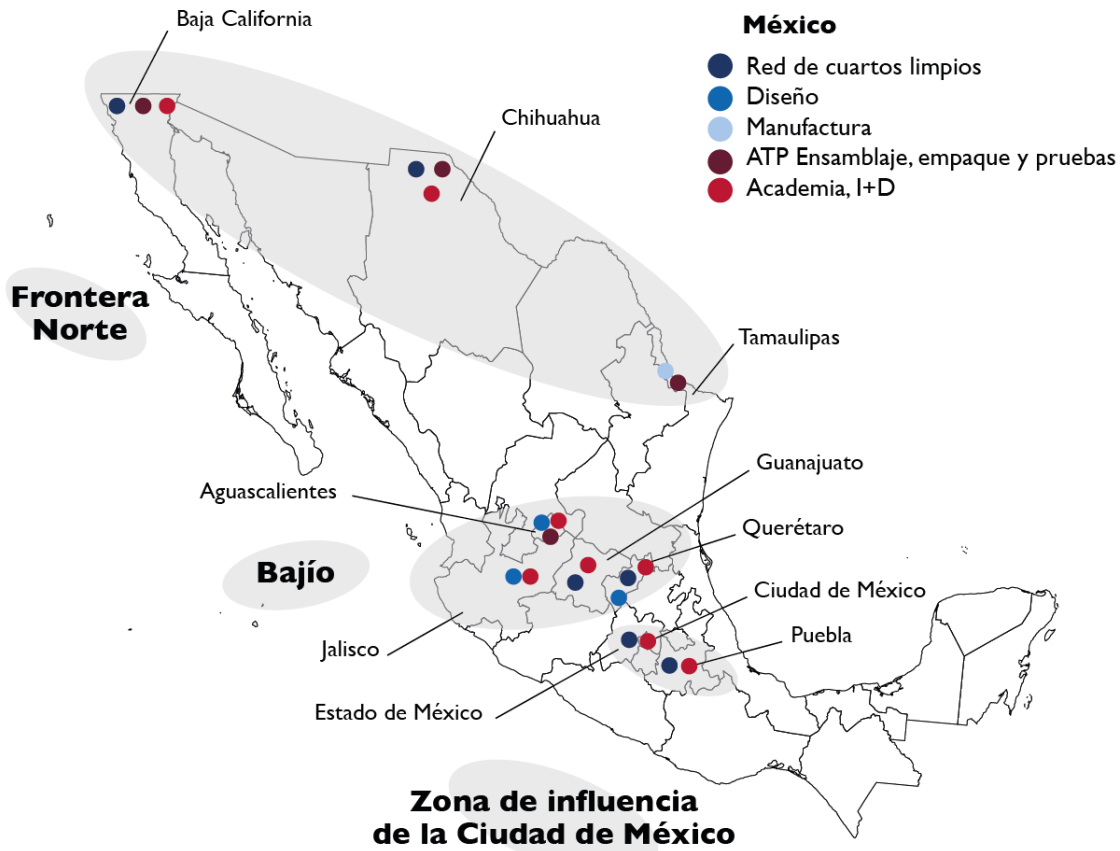
USAID

DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA

FUMEC

Fundación México-Estados Unidos para la Ciencia
The United States-Mexico Foundation for Science

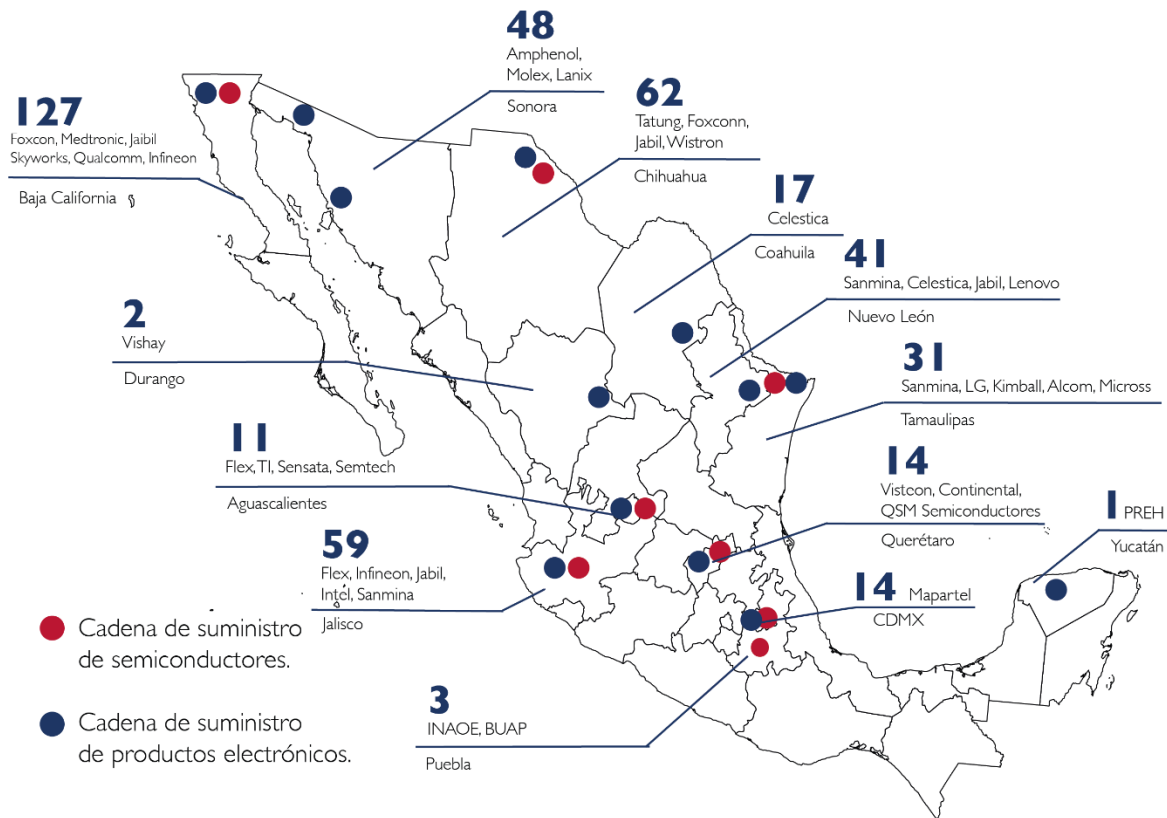
Figura 6. Distribución de la cadena de suministro del segmento SC-CORE en México



Fuente: FUMEC a partir del análisis industrial por regiones

La superposición geográfica entre la infraestructura de *nearshoring* del segmento SC-CORE y otras industrias se debe a que las empresas de semiconductores aprovechan la infraestructura existente (como carreteras, suministro de energía y agua, y el talento local), que no se construyó inicialmente para las cadenas de suministro de semiconductores, pero que benefició sus operaciones (véase el Anexo 4 para obtener más detalles y ejemplos). A medida que la infraestructura relacionada con el *nearshoring* se expande en México, deberían beneficiarse indirectamente las capacidades de la cadena de suministro de semiconductores del país. La Figura 7 muestra la cantidad de establecimientos SC-CORE y SC-USER, así como algunos ejemplos representativos de empresas existentes por estado.

Figura 7. Distribución de las industrias mexicanas de la cadena de suministro de semiconductores del segmento SC-CORE y de productos electrónicos del sector SC-USER



Fuente: FUMEC basado en DENUE - INEGI

FUMEC recopiló y filtró el número de establecimientos SC-CORE y SC-USER con base en los datos de DENUE del INEGI y la interacción con expertos.

3.4.1. Características de las regiones prospectivas para el desarrollo de semiconductores en México

Como se mencionó anteriormente, las posibles regiones para el desarrollo del segmento SC-CORE en México se pueden organizar en tres subregiones: Frontera Norte, Bajío y Zona de Influencia de la Ciudad de México. En la Figura 8 se clasifican los estados que forman parte de estas regiones en dos categorías: 1) estados con capacidades existentes del segmento SC-CORE (marcados con ✓), que pueden aumentar su participación en la cadena de suministro de semiconductores a corto y mediano plazo, y 2) estados con fuertes capacidades del sector SC-USER (como grandes concentraciones de maquiladoras de productos electrónicos que utilizan chips), y sin capacidades sustanciales del segmento SC-CORE (identificadas en el recuadro gris), que tienen potencial de desarrollo a mediano y largo plazo.

La clasificación se realizó con base en seis criterios:

1. Capacidad instalada de la industria de semiconductores (por ejemplo, diseño, fabricación o ATP): la variable principal que determina si el estado se clasifica como prospectivo.
2. Capacidad instalada de fabricación de productos electrónicos en el estado (presencia de importaciones significativas de semiconductores).
3. Empresas de semiconductores con actividad de fabricación de productos electrónicos en el estado (lo que sugiere que estas empresas podrían traer actividades de semiconductores a México en el futuro).
4. Complejidad económica, diversificación y proximidad ¹¹ del estado a la industria de semiconductores.
5. Planes estatales para atraer a las industrias de productos electrónicos o de semiconductores.
6. Capacidades académicas y de I+D (para la colaboración con otros estados y regiones).

La intuición sugiere que un alto desarrollo económico estaría correlacionado con la capacidad de encargarse de una labor de alta tecnología como las actividades del segmento SC-CORE. Sin embargo, como muestra se muestra en la Figura 8, esto no es necesariamente es el caso.

Figura 8. Regiones con capacidades de semiconductores validadas en México

Estado	SC-CORE						SC-USER
	Diseño, validación y diseño del núcleo de PI, SMEM	Fabricación de semiconductores discretos	Ensamblaje, prueba y empaquetado	Red de cuartos limpios	Instituciones educativas e I+D	Desarrollo de fuerza laboral sobresaliente	Productos electrónicos
Aguascalientes	✓		✓				✓
Baja California			✓	✓	✓	✓	✓
Chihuahua	✓			✓	✓	✓	✓
Jalisco	✓				✓	✓	✓
Querétaro	✓			✓	✓	✓	✓
Tamaulipas		✓	✓				✓
Ciudad de México	Potencial de desarrollo (tienen la infraestructura general, pero carecen de especialización)						✓
Durango							
Guanajuato							✓
Nuevo León							✓
Puebla							
Sonora							✓

Fuente: FUMEC

El Anexo 8 incluye información adicional sobre los estados prospectivos y con potencial de desarrollo.

¹¹ La teoría de la complejidad económica supone que el potencial productivo de las regiones no solo depende del suelo o de los recursos naturales, sino también de las capacidades productivas (know-how) de las personas (Universidad de Harvard). Esta teoría se utiliza para predecir y explicar la dinámica de las actividades económicas y de los agregados económicos (Atlas de Complejidad Económica). La diversificación económica está intrínsecamente relacionada con la transformación estructural de sus economías y el logro de niveles más altos de productividad como resultado del movimiento de recursos económicos, tanto dentro como entre los sectores económicos (Banco Mundial). La proximidad entre dos actividades indica su grado de similitud: cuanto más cercanas se encuentren dos actividades, más conocimientos, capacidades o insumos comparten (Secretaría de Economía).

3.5. Análisis de los estados

Este mapa de ruta identifica los estados que están listos para ingresar a la cadena de suministro de semiconductores a gran escala. Todos ellos cuentan con cierta capacidad instalada relacionada con los semiconductores: cuartos limpios, instalaciones básicas de diseño de chips y operaciones de fabricación de pequeña escala. Los estados con potencial de desarrollo, que tienen una buena posición pero que no están completamente preparados para el trabajo del segmento SC-CORE, poseen los elementos principales necesarios para ingresar a la cadena de suministro de semiconductores, como una fuerza laboral calificada, infraestructura sólida y buena administración; sin embargo, actualmente carecen de capacidad instalada de semiconductores. En este aspecto, la experiencia es irremplazable. Esto ayuda a explicar algunas clasificaciones que inicialmente pueden parecer contraintuitivas, como por qué estados con una capacidad industrial impresionante, como Nuevo León, permanecen en el grupo de los estados con potencial de desarrollo.

Algunos estados están listos para asumir todas las actividades del segmento SC-CORE viables para México, mientras que otros solo están listos para una parte de esas actividades. Otros aún no están listos para llevar a cabo ninguna actividad del segmento SC-CORE, pero con la inversión y el apoyo gubernamental adecuados, podrían estarlo en un futuro cercano. Del mismo modo, algunos estados pueden contar con las instalaciones requeridas para los trabajos de semiconductores, como cuartos limpios e instalaciones de I+D que actualmente no se utilizan en actividades relacionadas con los semiconductores. Estos estados también se clasifican como con potencial de desarrollo.

En este contexto, la inclusión de los estados que forman parte de las regiones potenciales de semiconductores de este mapa de ruta se basa en un minucioso análisis de datos. Si bien, la inclusión en la categoría de “listos” representa un logro, esta clasificación no es permanente. El análisis en esta sección no debe desalentar las inversiones o los esfuerzos regionales en otros estados de la República Mexicana que buscan activamente desarrollar la industria local de semiconductores. De hecho, este mapa de ruta ofrece metodologías y orientación estratégica para ayudar a los estados a alcanzar este objetivo.

Podemos evaluar el potencial de tres subregiones mexicanas (Frontera Norte, Bajío y Zona de Influencia de la Ciudad de México) en función de dos características principales: capacidad física (infraestructura y edificios) y capacidad de soporte (herramientas de software, bibliotecas de diseño de semiconductores y grupos de fabricación de circuitos integrados). Estas capacidades pueden estar distribuidas en diferentes estados de una subregión, lo que exige una estrecha colaboración e integración entre los estados para crear un ecosistema local de semiconductores que permita aprovechar al máximo estos activos. Teniendo en cuenta estos requerimientos previos, en la siguiente sección se presenta un análisis del nivel de preparación de cada región para el despliegue de la industria de semiconductores.

3.5.1. Análisis de la Región de la Frontera Norte

La Región de la Frontera Norte (NBR) alberga empresas con capacidades existentes del segmento SC-CORE que pueden ampliarse o diversificarse en los Estados de Baja California, Chihuahua y Tamaulipas. A pesar de que los estados de Nuevo León, Durango y Sonora se mantienen con potencial de desarrollo, éstos cuentan con capacidades sólidas para el sector SC-USER que permiten crear un potencial significativo para el desarrollo de capacidades del sector SC-CORE.

La proximidad de la Frontera Norte con Estados Unidos ofrece una ventaja geográfica que se puede aprovechar para participar en la cadena de suministro de semiconductores. Esta ventaja facilita el desplazamiento de personas de forma rápida y asequible, que sirve de base para la colaboración binacional. Un ejemplo es la colaboración de la Universidad Estatal de Arizona con Sonora y Nuevo León para desarrollar programas de estudio especializados en semiconductores. Otro ejemplo de cooperación binacional es el trabajo de la Universidad Estatal de Arizona (ASU) y la Universidad de Stanford con el gobierno de Nuevo León para superar los retos de la región en materia de disponibilidad de agua y energía.

Los estados de la Frontera Norte se beneficiarán de la próxima instalación de dos megaplantas de semiconductores en la región fronteriza con Estados Unidos. Taiwan Semiconductor Manufacturing Company Limited (TSMC) está invirtiendo alrededor de \$65 mil millones de dólares en sus tres nuevas plantas en Arizona con recursos obtenidos del fondo del *CHIPS Act*: \$6,600 millones de dólares en financiamiento directo y \$5,000 millones de dólares en préstamos. Además, Samsung está construyendo una nueva planta en Texas, más grande que su actual fábrica Lone Star, con una inversión de \$40 mil millones de dólares.¹²

A continuación, se presentan las capacidades existentes y potenciales del segmento SC-CORE de los seis estados seleccionados de la Frontera Norte.



Baja California: En 2023, el estado recibió \$1,470 millones de dólares de Inversión Extranjera Directa (IED), que representó aproximadamente el 4.1% del total de la IED en México ese año. El estado cuenta con 10 centros de investigación, 171 instituciones de educación superior y casi 60 parques industriales. Alberga 1,138 establecimientos exportadores que generan 410,213 empleos. Ocupa el primer lugar en la distribución nacional de establecimientos de exportación, con una participación del 17.7%, y el segundo lugar en la distribución nacional de empleos de exportación, con una participación del 12.5%, de acuerdo con el programa IMMEX. Las exportaciones estatales ascendieron a \$56,140 millones de dólares, de los cuales las ventas internacionales de semiconductores representaron el 3.9% (\$2,190 millones de dólares, adquiridos principalmente por EE. UU. y países asiáticos), lo cual ubica a Baja California como el estado líder exportador de semiconductores en México. Las importaciones estatales sumaron \$42,500 millones de dólares, de los cuales, las compras de semiconductores representaron el 7.65% (\$3,250 millones de dólares)¹³

El estado lleva una década participando en el sector de SC a través de actividades de ATP, atrayendo a empresas globales de electrónica para reforzar y expandir sus operaciones en México. En materia de infraestructura, el Centro Nacional de I+D en Nanotecnología de la UNAM ya cuenta con un cuarto limpio. Con sus 60 parques industriales, Baja California es considerada una de las regiones con mayor potencial para SC en México.

¹² Actualización del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de EE. UU. (NIST) para la [inversión en TSMC](#) y para la [inversión en Samsung](#) (haga clic en los enlaces). Sobre el financiamiento directo y los préstamos para TSMC de CHIPS, éstos son memorándums de términos preliminares no vinculantes (PMT); los anuncios no son concesiones oficiales.

¹³ Fuentes de 2023 y 2024: [Data México](#), [INEGI](#), y [Asociación Mexicana de Parques Industriales](#) (haga clic en los enlaces) La información de los 12 estados en esta sección (sección 3.5) se obtuvo de estas mismas fuentes.

Para fortalecer su participación en el sector, Baja California puede aprovechar su proximidad con el ecosistema de semiconductores CaliBaja (establecido en 2011) para colaborar y atraer nueva actividad. Por ejemplo, el estado podría asociarse con empresas importantes de diseño estadounidenses como Intel, Nvidia y Qualcomm, con sede en San Diego, y ampliar su alcance al nuevo centro de fabricación de semiconductores en Arizona. Esto incluye la integración en la cadena de suministro de grandes empresas como ON Semiconductor, Microchip Technology y las nuevas instalaciones de TSMC, cuya apertura está prevista para 2025.

Los esfuerzos exitosos que deben continuar o ampliarse para aumentar la participación en el desarrollo de semiconductores incluyen iniciativas como, el Comité de Desarrollo Social de Mexicali y la creación de modelos de capacitación de talentos. Estos esfuerzos han sido fundamentales para formalizar y mantener la dirección, permitiendo la flexibilidad en los ecosistemas cambiantes de las industrias SC-CORE y SC-USER. Los planes de Baja California se ajustan a la necesidad de la industria local de desarrollar talento en múltiples niveles, incluidos programas actualizados de ingeniería electrónica en varias universidades, el nuevo programa de Ingeniería en Semiconductores en la UABC, además de diversos programas técnicos y de especialización para profesionales que ya trabajan en el campo de los semiconductores, algunos de los cuales se basan en un modelo dual.

Baja California necesita mantener y fortalecer sus programas de asociación público-privada a través de entidades como el Programa de la Industria Manufacturera, Maquiladora y de Servicios de Exportación (IMMEX). Al mismo tiempo, debe seguir desarrollando talento en varios niveles, lo que es crucial para dotarse de las habilidades requeridas por la industria local de semiconductores, atraer nuevas empresas y fomentar el crecimiento económico. El estado y las empresas locales deben realizar mejoras importantes para cumplir con los requerimientos en materia de infraestructura, como agua, energía limpia y centros logísticos.

Este estado podría promover sus capacidades e historias de éxito en los sectores de electrónica y semiconductores, lo que incluye contar con una fuerza laboral experta en electrónica y trabajar con empresas internacionales como Foxconn, Jabil, Samsung, LG y Hisense. Estos esfuerzos respaldarán la expansión y atraerán nuevas iniciativas de *nearshoring* de semiconductores.

En cuanto a esfuerzos de articulación, en junio de 2024 se realizó el segundo de cuatro foros trimestrales de Colaboración para Semiconductores, cuyo objetivo principal es promover el desarrollo de las cadenas de suministro de semiconductores en Norteamérica. El foro fue coorganizado por la Gobernadora de Baja California, Marina del Pilar Ávila; el presidente de la Cámara Nacional de la Industria Electrónica de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información (CANIETI), Enrique Yamuni; y el director Adjunto de Misión de la Embajada de Estados Unidos, Mark Johnson. Estos foros buscan propiciar el diálogo entre los gobiernos de México y Estados Unidos, así como de los gobiernos estatales en México, el sector privado, y la academia, para insertar a México en la cadena global de semiconductores. En el foro, la gobernadora anunció el soporte técnico de USAID para desarrollar la Estrategia Estatal de Semiconductores.

En cuanto a desarrollo de fuerza laboral, en mayo de 2024 el Gobierno del Estado, en colaboración con Emtech Institute y el apoyo de Santander Universidades, lanzaron un programa de capacitación enfocado en fortalecer habilidades técnicas de 100 profesionales del estado. El enfoque del programa es diseño y actividades de back-end; además la Semiconductor Alliance organizará en Tijuana su segundo evento binacional enfocado en talento el cual se realizará en el otoño de 2024.



Chihuahua: En 2023, el estado recibió \$1,980 millones de dólares en IED, que representa aproximadamente el 5.5% del total de la IED en México. Cuenta con 9 centros de investigación, 167 instituciones de educación superior, 5 centros de investigación avanzada y cerca de 40 parques industriales. Alberga 577 establecimientos exportadores que generaron 448,407 empleos. Chihuahua ocupa el tercer lugar en la distribución nacional de establecimientos exportadores, con una participación del 8.9%, y el primer lugar en la distribución nacional de empleos de exportación, con una participación del 13.9%, esto de acuerdo con el programa IMMEX. Las exportaciones estatales ascendieron a \$68,560 millones de dólares, de los cuales las ventas internacionales de semiconductores representaron el 1.5% (\$1,040 millones de dólares). Las importaciones estatales representaron \$57,900 millones de dólares, de las cuales las compras internacionales de semiconductores representaron el 20.52% (\$11,880 millones de dólares).

A lo largo de los años, el sector de productos electrónicos en Chihuahua se ha diversificado. Inicialmente centrada en la electrónica de consumo, la industria se ha ampliado para incluir electrónica automotriz, equipos de telecomunicaciones y dispositivos médicos. El estado alberga a más de 160 empresas de productos electrónicos, entre ellas Foxconn, Jabil, Pegatron, Emerson, Siemens, Winstron, Flex, Cisco, Inventec, ZF Electronics, Lexmark, Plexus, GE, Toshiba, Harman entre otras, las cuales han creado las condiciones adecuadas para el desarrollo de una industria SC-CORE.

Para fortalecer su participación, el Gobierno Estatal debe desarrollar e implementar un mecanismo de colaboración con las empresas existentes para crear políticas públicas que refuercen las operaciones actuales de ATP y atraigan nuevas actividades con mayor valor agregado. Para conocer ejemplos de estas políticas, véase la Sección 4. Chihuahua busca atraer a más empresas internacionales cuyos corporativos traigan procesos de semiconductores del extranjero a México, aprovechando el éxito de las empresas internacionales establecidas en el estado.

Otra estrategia fundamental a seguir es la de desarrollar un centro regional con Texas y Arizona para impulsar el crecimiento del ecosistema de semiconductores. Este esfuerzo implica aprovechar a empresas como TI, Microchip Technology y ON Semiconductor, así como a las futuras plantas de fabricación de semiconductores previstas para 2025 en Arizona y Texas. El centro regional también debe aprovechar la base de talento actual del estado al explorar el mercado de los Sistemas Microelectromecánicos (MEMS) para diversos usos, como el IoT, la Industria 4.0 y los sistemas médicos.

Para aumentar su participación en la industria de semiconductores, Chihuahua debe continuar fomentando la estrecha relación entre el sector privado y las instituciones educativas, implementando iniciativas de desarrollo de la fuerza laboral centradas en la industria de semiconductores. En el desarrollo de estas iniciativas, se deberá trabajar con organizaciones como la Asociación de Tecnología de Montaje Superficial (SMTA), para desarrollar el talento a nivel técnico y de ingeniería en las universidades públicas. Aunado a esto, la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez y el Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez están ampliando los programas académicos centrados en semiconductores con el fin de preparar una fuerza laboral calificada para el desarrollo y la fabricación de MEMS.

Finalmente, es fundamental el papel que desempeñan las instituciones públicas en la formalización de planes efectivos a largo plazo basados en colaboraciones multiactor. Además, las instituciones públicas

deben contribuir a la investigación asignando recursos financieros para el funcionamiento del Laboratorio Nacional CONAHCYT en Microtecnología y Semiconductores (LaNMISe), el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV) y el Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología Aplicada (CICTA). Estas contribuciones apoyarán el desarrollo de MEMS para la capacitación en diseño, fabricación, modelado, simulación y caracterización de MEMS y otros dispositivos semiconductores.



Tamaulipas: En 2023, el estado recibió 495 millones de dólares en IED, que representa aproximadamente el 1.37% del total de la IED en México. Cuenta con 7 centros de investigación, 187 instituciones de enseñanza superior y más de 20 parques industriales, lo cual representa el 6.5% de los establecimientos exportadores que generaron 236,278 empleos. Tamaulipas ocupa el quinto lugar en la distribución nacional de establecimientos exportadores, con una participación del 6.5%, y el cuarto lugar en la distribución nacional de empleos de exportación, con una participación del 7.6%, de acuerdo con el programa IMMEX. Las exportaciones estatales ascendieron a \$29,400 millones de dólares, de los cuales las ventas internacionales de semiconductores representaron el 0.3% (\$86 millones de dólares). Las importaciones estatales sumaron \$22,400 millones de dólares, de los cuales las compras de semiconductores representaron el 12.9% (\$2,890 millones de dólares).

Tamaulipas es el único estado mexicano que produce dispositivos semiconductores discretos. Desde 2005, el estado alberga una fábrica independiente de semiconductores de la compañía Micross; una parte de la planta se dedica a la fabricación y la otra, a actividades de ATP. Entre los productos que fabrican se encuentran rectificadores, diodos de supresión de voltaje transitorio (TVS) y diodos Zener en empaquetados axiales y de montaje superficial. Además, ofrecen diodos comerciales listos para usar (COTS, por sus siglas en inglés) y dispositivos de administración de energía consumidos por las industrias militar y aeroespacial.

Para fortalecer su participación en el sector de semiconductores, Tamaulipas puede ampliar sus colaboraciones binacionales, aprovechando su cercanía a la frontera con Texas. Sin embargo, los problemas de seguridad obstaculizan el desarrollo del estado. Cabe destacar que la fábrica de semiconductores de Micross es bastante pequeña y tiene un valor de \$30 millones de dólares, que representa apenas el 0.1 por ciento de la inversión en la fábrica de Samsung en Texas, que comenzará a operar en 2024.

Al mismo tiempo, Tamaulipas podría diversificar su ecosistema dinámico de múltiples talleres de diseño especializado de pequeña escala hacia el segmento SC-CORE. Actualmente, los sectores prioritarios del estado se centran en productos automotrices, químicos y petroquímicos, así como en electrodomésticos, maquinaria y equipos; turismo; equipos agroindustriales y médicos; tecnologías de la información; energías renovables; logística y el sector aeroespacial.

Desarrollar fuerza laboral local en Tamaulipas es un desafío importante. Actualmente es difícil encontrar capacitación para operadores de planta, ya que el personal especializado, como ingenieros de procesos de semiconductores, químicos e ingenieros de materiales, debe provenir de otros estados. A pesar del lanzamiento del programa de Ingeniería en semiconductores en el Instituto Tecnológico Nacional de México (TecNM), en dos ciudades que se encuentran a 500 kilómetros de la fábrica de Micross, la necesidad de personal calificado sigue siendo un desafío.



Nuevo León: En 2023, el estado recibió \$2,537 millones de dólares en IED, que representa aproximadamente el 7.03% del total del IED en México (el tercer lugar en la lista de las diez principales IED de México). Cuenta con 10 centros de investigación, 243 instituciones de educación superior y más de 70 parques industriales. Alberga 839 establecimientos exportadores que generaron 376,720 empleos. Nuevo León ocupa el segundo lugar en la distribución nacional de establecimientos exportadores, con una participación del 12.9% y el tercer lugar en la distribución nacional de empleos de exportación, con una participación del 11.3%, de acuerdo con el programa IMMEX. Las exportaciones estatales representaron \$62,800 millones de dólares, de los cuales las ventas internacionales de semiconductores representaron el 0.2% (\$123 millones de dólares). Las importaciones estatales ascendieron a \$59,800 millones de dólares, de los cuales, las compras internacionales de semiconductores representaron el 4.14% (\$2,480 millones de dólares).

Nuevo León posee varias ventajas que lo posicionan como un actor potencial en la cadena de suministro de semiconductores de Norteamérica. La cercanía del estado a la próxima planta de chips de Samsung en la frontera de Texas convierte a Nuevo León en un fuerte candidato para las oportunidades de relocalización en la industria de semiconductores. También cuenta con un ecosistema industrial sólido, que posee una base industrial consolidada y bien desarrollada que abarca los sectores aeronáuticos, automotriz y de productos electrónicos (por ejemplo, electrodomésticos, computadoras). Las importantes inversiones de empresas como Ternium y Kia, con la posibilidad de que Tesla instale una giga-fábrica, consolidan aún más su atractivo para las empresas de semiconductores Tier I que buscan expandirse o reubicarse. Este ecosistema existente es adaptable y puede evolucionar rápidamente para dar cabida a las empresas del sector de semiconductores.

Funcionarios estatales, clústeres industriales e instituciones académicas colaboran con prestigiosas universidades como la ASU, la Universidad de Texas y Stanford, así como con organizaciones internacionales de I+D para reconocer las futuras necesidades de fuerza laboral del estado. Además, el Parque PIIT de Monterrey fomenta la investigación aplicada, vinculando la ciencia y la tecnología con las necesidades de mercado, la propiedad intelectual y la incubación de empresas emergentes (startups) en campos relevantes, como la biotecnología y la nanotecnología. Las universidades y centros de investigación locales contribuyen activamente ofreciendo cursos de semiconductores, aprovechando las fortalezas existentes en fabricación de productos electrónicos y la educación STEM. El estado está abierto a atraer empresas ATP y comienza a participar de forma más activa en el ecosistema regional de semiconductores con pequeñas y grandes empresas especializadas de semiconductores: por ejemplo, el diseño de chips de tecnología básica que sirven de insumos críticos para Fabricantes de Equipos Originales (OEM) consolidados, empresas que producen bienes industriales y domésticos.

El estado enfrenta desafíos para convertirse en un actor importante en la cadena de suministro de semiconductores de Norteamérica. En comparación con otros estados fronterizos con una industria de semiconductores más consolidada, Nuevo León carece de infraestructura especializada, como cuartos limpios. Para solucionar este problema, la colaboración con instituciones académicas destinadas a la creación de este tipo de instalaciones ayudaría a apoyar el I+D, los servicios industriales y la capacitación práctica de los estudiantes.

Nuevo León podría implementar estos primeros pasos rápidamente, ya que cuenta con muchas instituciones académicas, incluidas algunas de las más grandes y prestigiosas del país, como el TEC de Monterrey y la Universidad Autónoma de Nuevo León. Estas instituciones generan muchos ingenieros

en múltiples disciplinas. Sin embargo, el estado tendría que actuar con rapidez, ya que la creciente demanda de ingenieros en la industria de semiconductores supera la oferta actual. Como resultado, el estado tendría que competir con los estados vecinos y con Estados Unidos para atraer talento, por lo que promover un flujo binacional de fuerza laboral requiere esfuerzos coordinados.

Si bien las instituciones estatales generan talento para la industria, es posible que algunos programas de ingeniería no se adapten específicamente a las necesidades de las empresas de semiconductores. Revisar y actualizar estos programas es crucial para atraer nuevas empresas a este sector. En este sentido, se están dando pasos favorables, como el reciente lanzamiento de un programa de Ingeniería en Semiconductores por parte del TecNM de Nuevo León y la ampliación de la oferta por parte de otras instituciones. Al abordar estos desafíos y capitalizar sus fortalezas existentes, Nuevo León tiene el potencial de convertirse en un actor importante en la cadena de suministro de semiconductores de Norteamérica.



Sonora: En 2023, Sonora recibió \$2,706 millones de dólares en IED, que representa aproximadamente el 7.5% del total de la IED en México (segundo lugar en la lista de las diez principales IED de México). El estado cuenta con 5 centros de investigación, 146 instituciones de educación superior y más de 10 parques industriales. Alberga 348 establecimientos exportadores que generaron 159,381 empleos. Sonora ocupa el octavo lugar en la distribución nacional de establecimientos exportadores, con una participación del 5.4%, y el octavo lugar con una participación del 4.8% en la distribución nacional de empleos de exportación, de acuerdo con el programa IMMEX. Las exportaciones estatales ascendieron a \$18,400 millones de dólares, de los cuales, las ventas internacionales de semiconductores representaron el 0.16% (\$30 millones de dólares). Las importaciones estatales sumaron \$10,900 millones de dólares, de los cuales, las compras internacionales de semiconductores representaron el 1.69% (\$184 millones de dólares).

El estado alberga múltiples empresas maquiladoras, muchas de ellas del sector electrónico, ubicadas tanto en la región fronteriza (Nogales, Agua Prieta y San Luis Río Colorado) como en la región central (Hermosillo, Guaymas y Ciudad Obregón). Si bien Sonora generó un ecosistema para atraer a grandes empresas de productos electrónicos, aún no ha establecido su presencia en la industria de semiconductores. Sin embargo, Sonora posee muchas de las capacidades necesarias para entrar en el sector de semiconductores, estas incluyen: la capacitación de talento a nivel de licenciatura; infraestructura conectada con Estados Unidos; un cuarto limpio en una institución académica privada dedicada al desarrollo de materiales (pero que podría utilizarse para el desarrollo de MEMS); agrupaciones industriales y organizaciones de desarrollo económico con acuerdos con el gobierno estatal para promover programas de desarrollo sectorial a mediano y largo plazo.

Entre los factores importantes a considerar para las oportunidades de *nearshoring* de semiconductores se incluyen la proximidad de Sonora con California -un centro de semiconductores sólido con muchas sedes de empresas y actividades de diseño agrupadas-, además del creciente ecosistema de Arizona, asiento de importantes fabricantes de diseño y de la nueva planta de TSMC que comenzará a operar en 2025.

Sonora es uno de los pocos estados del país que cuenta con un plan de política industrial en coordinación con autoridades estatales y federales, así como con su estado vecino de Estados Unidos. El Plan Sonora persigue activamente la inversión de semiconductores en energía y materiales para baterías, aprovechando la proximidad de Sonora con la nueva planta de TSMC en Arizona. Para

responder a las necesidades de fuerza laboral, ASU, con fondos del *CHIPS Act*, ofrece capacitación en inglés para el sector de semiconductores junto con un programa de certificación técnica más amplio. Además, la Universidad Estatal de Sonora (UNISON) ha lanzado un programa de ingeniería en semiconductores alineado con las necesidades de la industria local.

La agilización del cruce fronterizo (incluido el puerto de Guaymas) y la colaboración binacional en materia de desarrollo económico, energía, medio ambiente y agua, gestión de residuos sólidos y otros temas relevantes acordados con la Comisión Arizona-México, el Consejo Ari-Son y la Alianza Interuniversitaria Arizona-Sonora, consolidan aún más las posibilidades de Sonora para la producción de SC como parte de la mega región binacional Ari-Son.

El futuro parece prometedor, pero la continuidad del liderazgo será necesaria para la articulación, ejecución y supervisión de los futuros planes de desarrollo del estado que den prioridad a los semiconductores. Dos estrategias claras para unificar el sector son: promover las actividades básicas de diseño y validación de semiconductores, y 2) atraer la llegada de una operación de ATP extranjera.



Durango: En 2023, el estado recibió 340 millones de dólares en IED, que representa aproximadamente 0.93% del total de la IED en México (se encuentra entre los diez primeros de la lista de IED de México). Cuenta con siete centros de investigación, 104 centros de educación superior y cinco parques industriales. Durango alberga 74 establecimientos exportadores que generaron 47,934 empleos. Este estado ocupa el decimoquinto lugar en la distribución nacional de establecimientos exportadores, con una participación del 1.1%, y el decimocuarto lugar en la distribución nacional de empleos de exportación, con una participación del 1.4%, de acuerdo con el programa IMMEX. Aunque no se disponía de datos de ventas internacionales de semiconductores correspondientes a 2023, las importaciones del estado sumaron \$1,740 millones de dólares, de los cuales las compras de semiconductores representaron el 0.86% (\$15 millones de dólares).

Durango se encuentra en el norte de México, pero carece de la ventaja de una frontera directa con Estados Unidos. A pesar de ello, Durango aún tiene potencial para desarrollar capacidades de semiconductores gracias a Vishay Intertechnology, Inc., una empresa internacional de semiconductores con operaciones en el estado, que comenzará a fabricar componentes electrónicos pasivos. Además, Durango es sede de más de 30 empresas automotrices (APTIV, Johnson Controls, SEV y una planta de armado de vehículos eléctricos, entre otras); sirve de base para la industria metalmecánica; y recibe apoyo de un programa gubernamental de incentivos para la industria aeroespacial.¹⁴

Para fortalecer su participación en el sector, Durango debería aprovechar el logro de atraer las operaciones de Vishay centrándose en crear el entorno empresarial y el ecosistema de suministro adecuados para atraer a otras empresas de productos electrónicos y semiconductores. Esta estrategia pretende aportar, a medio plazo, nuevas líneas de trabajo que impliquen actividades económicas relacionadas con el sector de semiconductores, como ATP o incluso la fabricación de semiconductores discretos.

¹⁴ <https://www.latcam.ch/wp-content/uploads/2020/12/Presentation-Durango-2020-ENG.pdf>

Una ventaja distintiva de Durango es la voluntad política del Gobernador del Estado, quien promueve activamente incentivos y procesos normativos simplificados. El gobernador también colabora con su homólogo de Coahuila para atraer empresas de semiconductores a la región de La Laguna como extensión de la región de la Frontera Norte. Coahuila es un estado vecino, clasificado por el gobierno mexicano como relacionado con el sector de la fabricación de componentes electrónicos porque tiene actividades económicas que requieren conocimientos o insumos similares. Ambos estados poseen capacidades y materiales ya existentes que pueden contribuir a facilitar un proceso de diversificación hacia los semiconductores.

Al mismo tiempo, el Subsecretario de Desarrollo Económico de Durango ha insinuado que está analizando la implementación de incentivos fiscales y de suelo, así como la agilización de los procesos normativos para atraer a las empresas interesadas en participar en la cadena de suministro de semiconductores.

Durango también puede fomentar algunas iniciativas público-privadas-académicas de nivel local. Por ejemplo, el proyecto DuranIA se centra en la IA de los sectores de transporte aéreo, marítimo y terrestre, mientras que el PRCCIMAV se enfoca en las energías renovables y el medio ambiente. En el ámbito educativo, el TecNM de Durango lanzó recientemente su programa de Ingeniería en Semiconductores, pero necesita seguir ampliando los cursos formales y técnicos para desarrollar una fuerza laboral especializada.

En la Tabla 4 se resumen las capacidades industriales del segmento SC-CORE y del sector SC-USER de la región de la Frontera Norte, así como las empresas representativas por estado.

Tabla 4: Establecimientos de SC-CORE y SC-USER de la Frontera Norte

Estado	Etapas de la cadena de suministro del segmento SC-CORE	Establecimientos del segmento SC-CORE	Etapas de la cadena de suministro del sector SC-USER	Establecimientos del sector SC-USER
Baja California	I+D, ATP	UNAM, UABC, Skyworks, Infineon, Qualcomm	Montaje y pruebas	Foxconn, Medtronics, Jabil,
Chihuahua	I+D, empaque	UACJ, GE HealthCare	Diseño, montaje y pruebas	Foxconn, Jabil, Wistron
Durango	N/A	N/A	Fabricación de componentes electrónicos	Vishay Intertechnology ¹⁵
Nuevo León	N/A	N/A	Montaje y pruebas	Sanmina, Celestica, Lenovo
Sonora	Materiales	UNISON, NICDET	Montaje y pruebas	Motorola, Bose, LANIX, Molex, Amphenol
Tamaulipas	Fabricación, ATP	Micross	Montaje y pruebas	Sanmina, LG, Kimball

Fuente: FUMEC

Para más información sobre las importaciones y exportaciones de la Frontera Norte, véase el Anexo 9.

¹⁵ Las actividades de Vishay en Durango se enfocan en la manufactura de componentes electrónicos, como bobinas y capacitores.

3.5.2. Análisis de la región del Bajío (incluyendo la zona de influencia de la Ciudad de México)

La región del Bajío incluye tres estados con capacidades existentes del segmento SC-CORE: Aguascalientes, Jalisco y Querétaro. El Bajío también incluye tres estados con potencial de desarrollo: Guanajuato (con una importante presencia industrial), Ciudad de México y Puebla (con una importante presencia educativa). Aunque el Bajío carece de la misma ventaja geográfica de que disfruta la región norte, algunos estados del Bajío iniciaron negociaciones con empresas de semiconductores (centradas en ATP y diseño) para mejorar su potencial al colaborar en la creación de un ecosistema local integrado de semiconductores.



Aguascalientes: En 2023, el estado atrajo \$1,340 millones de dólares en IED, que representa el 3.7% de la IED nacional (el octavo lugar en la lista de los diez principales lugares con mayor IED en México). Cuenta con 7 centros de investigación, 62 instituciones de educación superior y más de 5 parques industriales. Alberga 88 establecimientos exportadores que generan 69,688 empleos. El estado ocupa el decimocuarto lugar en la distribución nacional de establecimientos exportadores, con una participación del 1.4% y el decimotercer lugar en la distribución nacional de empleos de exportación, con una participación del 2.1%, esto de acuerdo con el programa IMMEX. Las exportaciones estatales ascendieron a \$4,240 millones de dólares, de los cuales las ventas de semiconductores representaron el 1.16% (\$49 millones de dólares). Las importaciones estatales sumaron \$5,500 millones de dólares, de los cuales las compras de semiconductores representaron el 3.17% (\$177 millones de dólares).

A principios de la década del 2000, Aguascalientes contaba con una importante industria automotriz. Sin embargo, carecía de capacidades en semiconductores (por ejemplo, fuerza laboral, infraestructura y talento) necesarias para facilitar la llegada de una empresa de semiconductores. La industria de semiconductores surgió gracias a un promotor local, un ingeniero originario de Aguascalientes con doctorado y experiencia laboral en Canadá. Este ingeniero fue pieza clave para convencer a una empresa canadiense Snowbush (ahora Semtech) de establecer un centro de diseño en el estado.

En 2006, Texas Instruments (TI) estableció su planta de ATP en Aguascalientes, la cual es parte clave de la red mundial de fabricación de TI que produce una amplia gama de productos semiconductores. Sanmina, una gran empresa de sistemas de sensores derivada de TI, también opera una planta en Aguascalientes, donde ensambla productos y sistemas de sensores electrónicos. Además, BigBang, empresa mexicana de diseño de circuitos integrados analógicos e integradora de Systems on a Chip (SoC), decidió establecer operaciones en Aguascalientes. (La directora de BigBang es ingeniera mexicana con estudios de posgrado y experiencia laboral en el extranjero). Estas empresas son ahora actores relevantes en el ecosistema de semiconductores en Aguascalientes. Grandes inversiones en infraestructuras y la generación orgánica de talento en la zona lo hacen posible.

Para fortalecer su participación en el sector, Aguascalientes necesita generar una fuerza laboral mejor calificada para satisfacer la creciente demanda. A pesar de las colaboraciones entre la industria local de semiconductores, la Universidad Panamericana y la Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA),

así como de la evolución de los programas de ingeniería electrónica, se necesita un mayor número de trabajadores muy especializados.

Los esfuerzos exitosos -actualmente en curso- para aumentar la participación en semiconductores, y que deben continuar o ampliarse, incluyen la colaboración entre Aguascalientes y Jalisco para desarrollar una alianza regional, programas de intercambio para ingenieros electrónicos con experiencia en microelectrónica y diseño básico de semiconductores, así como el uso compartido de laboratorios.



Jalisco: En 2023, el estado atrajo \$2,030 millones de dólares en IED, que representa el 5.62% de la IED nacional (el cuarto lugar en la lista de las diez principales IED de México). Cuenta con 10 centros de investigación, 303 instituciones de educación superior y más de 25 parques industriales. Jalisco alberga 418 establecimientos exportadores que generaron 206,021 empleos. Ocupa el sexto lugar en la distribución nacional de establecimientos de exportación, con una participación del 6.5%, y el sexto lugar en la distribución nacional de empleos de exportación, con una participación del 7.0%, de acuerdo con el programa IMMEX. Las exportaciones estatales ascendieron a \$36,100 millones de dólares, de los cuales las ventas de semiconductores representaron el 1.07% (\$376 millones de dólares). Las importaciones estatales sumaron \$42,000 millones de dólares, de los cuales las compras de semiconductores representaron el 13.89% (\$5,800 millones de dólares).

El estado tiene un robusto ecosistema integrado de electrónica y semiconductores. A menudo conocido como “el Silicon Valley de México”, Jalisco se beneficia del fuerte involucramiento de los sectores privado, educativo y público. Durante más de 50 años, el gobierno, la industria y las instituciones educativas han colaborado para apoyar a los sectores de la electrónica y semiconductores mediante mecanismos efectivos.

Aunque Jalisco alguna vez tuvo actividades de fabricación de semiconductores y ATP, la tendencia hacia la globalización transfirió estas operaciones a otros países, principalmente en Asia. Sin embargo, el estado se adaptó y ahora se centra claramente en el diseño de circuitos integrados de tecnología básica e intermedia, que es una actividad de mayor valor añadido en la cadena de valor ampliada del mapa de ruta. Intel Jalisco ha implementado un centro de diseño “único en su clase”, y existen otros centros de diseño de mediana y pequeña escala como Synopsys y Circuify (empresa mexicana), aunado al reciente anuncio de un nuevo centro de diseño de Micron. Las actividades generales de diseño del estado están respaldadas por el centro de diseño de Intel, el Centro de Investigación CINVESTAV, las capacidades de las universidades locales y las alianzas internacionales, así como el Jalisco Tech Hub Act del Gobierno Estatal (promulgada en 2022, se centra en semiconductores e Inteligencia Artificial). Es importante destacar que estas actividades de diseño complementan—y no desplazan—los esfuerzos continuos de Estados Unidos para mantenerse como el líder mundial en diseño de chips).

El CINVESTAV, el ITESO, la UDG y otras entidades académicas locales ofrecen programas y laboratorios consolidados de licenciatura y posgrado en semiconductores y electrónica. Muchas de las iniciativas del Gobierno Estatal para apoyar la capacitación relacionada con semiconductores se desarrollan con las instituciones educativas, como en el caso de la incorporación de actividades seleccionadas del programa PADTS (Programas Avanzados en Diseño de Tecnología de Semiconductores) del CINVESTAV. Este centro de investigación también cuenta con el Centro Tecnológico de Semiconductores (CTS), una casa de diseño electrónico. En términos de desarrollo de

la fuerza laboral, Jalisco puso en marcha un programa colaborativo con Intel para formar a 100 ingenieros en competencias especializadas.

El ecosistema de diseño de Jalisco se ve reforzado por la colaboración con universidades nacionales y extranjeras (por ejemplo, la Universidad Autónoma de Aguascalientes y la ASU). Por otro lado, la Universidad de Guadalajara (UdeG) lanzó el curso “Inglés para Semiconductores” en alianza con la ASU, en 2024 en paralelo con Chihuahua y otros estados de la república.

Los actores gubernamentales y del sector privado han evaluado, mantenido y modificado las iniciativas locales y los programas público-privados de apoyo a la industria de semiconductores, buscando adaptarse a las circunstancias cambiantes de los sectores globales de la electrónica y semiconductores, permitiendo al estado de Jalisco seguir siendo altamente competitivo. El gobierno de Jalisco apoya la capacitación relacionada con semiconductores, y destina fondos de desarrollo de capacidades para las empresas que ofrecen pasantías relevantes para el sector.

En febrero de 2024, CANIETI, la Secretaría de Economía Federal y la Embajada de Estados Unidos organizaron el primer Foro Binacional de Colaboración de Semiconductores en Guadalajara. En junio de 2024, la Alianza de Semiconductores, la UdeG y Banco Santander organizaron su primer evento binacional enfocado en talento en Guadalajara.



Querétaro: En 2023, el estado recibió \$1,100 millones de dólares en IED, que representa el 3.07% de la IED nacional (el noveno lugar en la lista de las diez principales IED en México). Cuenta con 10 centros de investigación, 107 instituciones de enseñanza superior y más de 20 parques industriales. Alberga 247 establecimientos exportadores que generaron 116,853 empleos. Ocupa el décimo lugar en la distribución nacional de establecimientos exportadores, con una participación del 3.9% y el séptimo lugar en la distribución nacional de empleos de exportación, con una participación del 3.6%, de acuerdo con el programa IMMEX. Las exportaciones estatales ascendieron a \$14,000 millones de dólares, de los cuales las ventas de semiconductores representaron el 0.05% (\$9 millones de dólares). Las importaciones estatales sumaron \$18,000 millones de dólares, de los cuales las compras de semiconductores representaron el 1.37% (\$246 millones de dólares).

Querétaro tiene una industria electrónica emergente y dinámica (por ejemplo, Samsung, Harman, Diehl Controls, PCBRÁPIDO) y fuerte presencia en operaciones de fabricación aeroespacial y automotriz. El gobierno estatal ha tenido mucho éxito en atraer empresas de esos sectores. Continental, Condumex-Delphi y Visteon—marcas líderes en electrónica automotriz e infoentretenimiento—tienen centros técnicos en Querétaro (para diseño y pruebas de sistemas integrados). El estado ocupa el segundo lugar en número de centros de investigación en México, y parte de su trabajo está relacionado con los semiconductores (por ejemplo, el CINVESTAV, Unidad Querétaro, realiza investigaciones sobre diversos materiales compuestos). El TecNM de Querétaro lanzó recientemente su programa de Ingeniería en Semiconductores.

QSM Semiconductors inició operaciones en 2024, centrándose en el diseño de sensores MEMS en nodos legacy. La empresa está considerando expandir sus operaciones de fabricación de semiconductores para finales de 2024, atendiendo a clientes de México, Estados Unidos y Europa, y buscando incrementar su participación en la cadena de suministro de semiconductores de Norteamérica. Este es un buen ejemplo de caso empresarial emergente originado del talento local de

CIDESI y el apoyo del gobierno del estado. Querétaro tiene un buen historial en el desarrollo de industrias locales a través de la cooperación entre la industria y las instituciones educativas, por ejemplo, la Universidad Aeronáutica de Querétaro se fundó a mediados de 2005, cuando el Gobierno del estado de Querétaro (con respaldo del Gobierno Federal) participó en un concurso internacional para atraer a Bombardier y otras empresas aeroespaciales. La instalación del nuevo Laboratorio de Innovación en Tecnología Aeroespacial Sustentable de Querétaro surge de la colaboración entre la empresa GE y el Gobierno de Querétaro (el equipo recibió financiamiento del Departamento de Estados Unidos en 2022).

La planificación para el diseño y fabricación de circuitos integrados de bajo volumen y tecnología intermedia representa el primer paso en la preparación de Querétaro para el crecimiento de las actividades de diseño de semiconductores. Este tipo de circuitos integrados tienen una gran demanda en los sectores industriales predominantes del estado y no compiten con los esfuerzos de diseño de alta tecnología de Estados Unidos. Sin embargo, la competencia internacional presenta múltiples barreras para penetrar en el mercado.

Para que la industria de semiconductores crezca en el estado, será necesario establecer una red de desarrollo de talento alineada con los requerimientos de la industria en términos de especializaciones regionales, creando un ecosistema de Corredor Central para construir los cimientos necesarios a fin de competir en el mercado mundial. Querétaro podría asociarse con estados vecinos como Guanajuato, Aguascalientes, Puebla o la Ciudad de México para escalar el talento mediante la construcción de un polo de desarrollo de semiconductores en la zona centro del país, apoyado en una extensa red de universidades y centros de investigación.



Guanajuato: En 2023, el estado atrajo \$810 millones de dólares en IED, que representa el 2.24% de la IED nacional en México (no se encuentra entre las diez principales IED). Cuenta con 8 centros de investigación, 262 instituciones de educación superior y más de 45 parques industriales. Alberga 409 establecimientos exportadores que generan 206,559 empleos. Guanajuato ocupa el séptimo lugar en la distribución nacional de establecimientos exportadores, con una participación del 6.3% y el séptimo lugar en la distribución nacional de empleos de exportación, con una participación de 6.4 por ciento, de acuerdo con el programa IMMEX. Las exportaciones estatales ascendieron a \$14,700 millones de dólares, de los cuales las ventas de semiconductores representaron el 0.05% (\$8 millones de dólares). Las importaciones estatales sumaron \$18,000 millones de dólares, de los cuales las compras de semiconductores representaron el 1.7% (\$306 millones de dólares).

Debido a su sólido sector automotriz, el estado cuenta con programas de investigación consolidados en la Universidad Estatal de Guanajuato (UG). Estos programas podrían permitir al Guanajuato identificar materiales relevantes para el sector de semiconductores. El estado también alberga un cuarto limpio en el Centro de Investigaciones en Óptica (CIO), cuyas líneas de investigación incluyen fibras ópticas, láseres, nanofotónica, mecánica óptica, óptica cuántica y procesamiento de materiales. El centro ofrece programas de maestría y doctorado en estas áreas. Asimismo, el recién inaugurado Centro de Diseño Electrónico y Circuitos Integrados (CEDECI) se centra en desarrollar talento en diseño de PCB y firmware integrado, en la ciudad de Silao. Esto último resalta la importancia regional que se concede a la industria SC-USER en este estado.

La Secretaría de Desarrollo Económico Sustentable ha anunciado los esfuerzos de Guanajuato para analizar oportunidades, realizar inversiones iniciales en infraestructura educativa y de investigación, y demostrar un firme interés en el desarrollo de la industria electrónica. En términos de generación de talento, Guanajuato y Querétaro pueden trabajar juntos para fortalecer sus capacidades y sentar las bases para el diseño de semiconductores. En 2023, se puso en marcha el Programa de Ingeniería en Semiconductores en los campus Celaya y Sur de Guanajuato del TecNM.

La creación del CEDECI así como del Mapa de ruta de oportunidades de negocio de alto valor e industrias a desarrollar en el municipio de León -el municipio más grande del estado- muestra la intención del gobierno local de “generar estrategias para convertir a Guanajuato en productor fundamental de semiconductores en toda Norteamérica, en donde León participe de forma relevante”. Sin embargo, se requiere liderazgo y acciones concretas de los sectores público y privado para la concreción de una industria local de semiconductores.



Ciudad de México: En 2023, la Ciudad de México (CDMX) atrajo \$11,197 millones de dólares en IED, que representa el 31.02% de la IED nacional (el primer lugar en la lista de las diez principales IED en México). Cuenta con 10 centros de investigación, 518 instituciones de educación superior y más de 10 parques industriales dentro de la zona urbana de la ciudad. La CDMX alberga 136 establecimientos exportadores que generan 37,053 empleos. Ocupa el decimotercer lugar en la distribución nacional de establecimientos de exportación, con una participación del 2.1%, y el decimoquinto lugar en la distribución nacional de empleos de exportación, con una participación del 1.1% de acuerdo con el programa IMMEX. En 2023, las exportaciones totales de la ciudad ascendieron a \$132,000 millones de dólares, de los cuales las ventas de semiconductores representaron el 0.08% (\$104 millones de dólares). Las importaciones de la ciudad sumaron \$175,000 millones de dólares, de los cuales las compras de semiconductores representaron el 0.37% (\$651 millones de dólares).

La ubicación estratégica de la ciudad en el centro del país—con Jalisco a un corto vuelo de distancia, y Puebla y Querétaro a poca distancia en automóvil—proporciona una ventaja significativa. Incluso con la actual falta de datos sobre las exportaciones e importaciones de semiconductores, la fortaleza industrial de la ciudad radica en sus centros académicos y laboratorios para el desarrollo del talento y de I+D. Cabe destacar que alberga las dos universidades más grandes, la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y el Instituto Politécnico Nacional (IPN), junto con sus respectivos centros de investigación. Además, el Instituto de Investigaciones en Materiales (IIM-UNAM) y la Sección de Electrónica del Estado Sólido (SEES-IPN) contribuyen con su valioso trabajo a los materiales avanzados para semiconductores, circuitos integrados, nanoelectrónica y energías renovables.

Para fortalecer su participación en el sector de SC, la Ciudad de México podría fomentar colaboraciones con entidades privadas o académicas a nivel nacional. Aprovechando los esfuerzos exitosos, como el acuerdo entre la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación (SECTEI) y el CIMAV para formar parte de la Red ECOs. Dicha colaboración tiene como objetivo promover el intercambio de conocimientos, la colaboración en proyectos y la especialización de la fuerza laboral en agua, calidad del aire y semiconductores.

Además, el Instituto Tecnológico Nacional de México (TecNM), con sede en Ciudad de México, ahora ofrece un nuevo programa de Ingeniería en Semiconductores en 17 campus del país brindando una amplia cobertura nacional. CINESTAV Guadalajara (Jalisco) y el INAOE (Puebla) son reconocidos a

nivel nacional e internacional como centros de investigación y educación en semiconductores y dan apoyo a sus respectivos campus del TecNM.

Cabe destacar que la Ciudad de México enfrenta restricciones en cuanto disponibilidad de espacio, que es insuficiente para establecer fábricas u otras instalaciones que requieran un espacio significativo. A pesar de esta limitación, la ciudad tiene potencial para liderar en el diseño de ATP y ofrecer especializaciones para la fuerza laboral a nivel nacional. Además, su posición estratégica e infraestructura la convierten en un importante centro de distribución.



Puebla: En 2023, el estado atrajo \$270 millones de dólares en IED, que representa 0.75% de la IED nacional en México (no se encuentra entre las diez principales IED). Puebla cuenta con más de 5 centros de investigación, 347 instituciones de educación superior y más de 8 parques industriales. Alberga 171 establecimientos exportadores que generan 77,184 empleos. Ocupa el duodécimo lugar en la distribución nacional de establecimientos exportadores, con una participación del 2.6%, y el duodécimo lugar en la distribución nacional de empleos de exportación, con una participación del 2.3%, de acuerdo con el programa IMMEX. Las exportaciones estatales ascendieron a \$22,700 millones de dólares. No se encontraron datos significativos sobre las ventas internacionales de semiconductores. Las importaciones estatales sumaron \$14,800 millones de dólares, de los cuales las compras de semiconductores representaron el 0.15% (\$22 millones de dólares).

Las industrias automotriz, agroindustrial y química, así como numerosas metalúrgicas, dominan el panorama industrial del estado. La industria automotriz del estado está muy desarrollada gracias a la presencia de Volkswagen y Audi (cada vehículo utiliza 1,000 o más chips). De acuerdo con la Industria Nacional de Autopartes, A.C. (INA), Puebla es el segundo estado, después de Jalisco, con mayor capacidad para diseñar semiconductores. Sin embargo, las industrias de semiconductores y electrónica del estado han tenido un desarrollo industrial menor hasta ahora, a excepción de las importaciones de semiconductores y proyectos específicos de I+D que responden a las necesidades del sector automotriz.

Esfuerzos exitosos actuales como el Centro de investigación Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) podrían ampliarse para aumentar la participación en semiconductores. El INAOE es reconocido como una de las instituciones más importantes de México para la formación de talento en semiconductores a través de sus programas de maestría y doctorado. Además, el INAOE es líder nacional en múltiples áreas y laboratorios de investigación de semiconductores (por ejemplo, fabricación y caracterización de sensores de Silicio, materiales nanoestructurados y MEMS) y programas educativos especializados (por ejemplo, microelectrónica, diseño de circuitos integrados e instrumentación electrónica). Motorola también donó una línea de producción de circuitos integrados al Laboratorio Nacional de Nanoelectrónica (LNN) del INAOE.

La Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) también cuenta con un centro de investigación de semiconductores. La BUAP creó su primer programa de maestría en semiconductores en la década de 1980 y su programa de doctorado en semiconductores en 2006. El trabajo de investigación y preparación de talento de semiconductores de Puebla se ve reforzado por la colaboración entre las instituciones educativas locales (INAOE, BUAP, TecNM, UDLA, etc.) y otras universidades de México, Estados Unidos, Canadá y Europa.

Para fortalecer su participación en el sector de semiconductores, Puebla puede responder a las actuales oportunidades de *nearshoring* en función de sus capacidades de I+D y formación de talento. Puebla puede crear un plan para el desarrollo gradual de una industria local de semiconductores y un ecosistema regional de semiconductores. Un ejemplo notable de colaboración es el compromiso del INAOE de brindar su experiencia para capacitar a los profesores que impartirán las asignaturas relacionadas con semiconductores en los programas de ingeniería del TecNM a nivel nacional ¹⁶.

En la Tabla 5 se resumen las capacidades industriales de SC-CORE y SC-USER del Corredor Central y la Zona de Influencia de la Ciudad de México, así como las empresas representativas por estado:

Tabla 5: Establecimientos de SC-CORE y SC-USER del Corredor Central y Zona de Influencia de la Ciudad de México

Estado	Etapas de la cadena de suministro del segmento SC-CORE	Establecimientos del segmento SC-CORE	Etapas de la cadena de suministro del sector SC-USER	Establecimientos del sector SC-USER
Aguascalientes	Diseño, ATP	Semtech, Texas Instruments (TI), BigBang Semiconductors	Montaje y pruebas	Sensata, Flex
Ciudad de México	I+D	IPN	Montaje y pruebas	+100
Guanajuato	I+D, materiales	CIO	N/A	N/A
Jalisco	I+D, diseño	Intel, ITESO, Synopsys, CINVESTAV, CTS, Circuify	Diseño, montaje y pruebas	Flex, Infineon, ¹⁷ Jabil, Sanmina, Plexus, NXP Semiconductors, ¹⁸ Foxconn, Emerson, Eaton
Puebla	I+D	INAOE	Montaje y pruebas	Energain
Querétaro	I+D, diseño	CIDESI, QSM Semiconductores	Diseño, montaje y pruebas	Continental, Condumex-Delphi, Visteon, Diehl

Fuente: FUMEC

Véase el Anexo 10 para más información sobre las importaciones y exportaciones en la región del Corredor Central (incluida la Zona de Influencia de la Ciudad de México).

¹⁶ “How Many Semiconductor Chips are in a Car?” *Polar Semiconductor*, Nov 30, 2023, <https://polarsemi.com/blog/blog-semiconductor-chips-in-a-car/#:~:text=So%2C%20here's%20the%20typical%20range.That's%20a%20lot>

¹⁷ Las actividades de Infineon en Jalisco son meramente soporte técnico postventa. Mientras que la empresa lleva a cabo otras actividades a nivel global, en Jalisco ayuda a los clientes a alinear especificaciones técnicas de los chips con sus diseños de PCB y otros productos electrónicos.

¹⁸ Aunque NXP Semiconductors en el pasado tenía actividades de ATP en Jalisco, hoy en día sus actividades en el estado se enfocan en certificaciones y requerimientos funcionales para el sector automotriz.

4. PLANES DE ACCIÓN PARA PROMOVER EL PAPEL DE MÉXICO EN LA CADENA DE SUMINISTRO DE SEMICONDUCTORES DE NORTEAMÉRICA

Hasta aquí, este mapa de ruta ha presentado el alcance mundial de la cadena de suministro de semiconductores y ha proporcionado datos y herramientas que permiten establecer una correspondencia aproximada entre los países que integran Norteamérica (Canadá, Estados Unidos y México) dentro de etapas específicas de la cadena de valor extendida descrita en el mapa de ruta. Los estados de la República Mexicana que aspiren a insertar o ampliar la participación de las empresas locales dentro de la cadena de suministro del segmento SC-CORE deberán tener una comprensión clara del camino que tienen por delante, su posición actual en él y su potencial rol en función de su experiencia y capacidad actuales. La pregunta final que deben responder es: ¿De qué manera los estados pueden lograr que México llegué a ser un destino atractivo para desarrollar actividades del segmento SC-CORE?

Cualquier país que quiera convertirse en un jugador importante dentro de la cadena de suministro de SC tiene sólo unos pocos años para hacerlo y si México sabe aprovechar las oportunidades actuales de *nearshoring*, no será la excepción. Esta sección presenta recomendaciones sectoriales a corto plazo que las instituciones mexicanas -gobiernos estatales,¹⁹ empresas privadas y centros académicos y de investigación- deberían considerar adoptar para crear un entorno empresarial adecuado en el que las empresas locales puedan participar en la producción regional del segmento SC-CORE.

Estas propuestas de política a nivel estatal se centran en los 6 dominios -infraestructura, cadena de suministro, fuerza laboral, innovación, emprendimiento y sostenibilidad- descritos en el Marco de la cadena de valor extendida y que determinarán en gran medida la disposición de las grandes empresas del segmento SC-CORE para invertir en México en los próximos años. Los siguientes puntos exploran cada uno de estos dominios por separado.



Infraestructura

Las actividades del segmento SC-CORE requieren instalaciones especializadas y equipos a gran escala y de larga duración, como cuartos limpios, sistemas de manejo de agua y gas de alta pureza e instalaciones de tratamiento de aguas residuales. En cuanto a los requerimientos logísticos para la producción de semiconductores, México cuenta con la infraestructura necesaria para mover, almacenar y enviar grandes volúmenes de mercancías de forma rápida, segura y eficiente.

Las deficiencias en infraestructura en México están relacionadas principalmente con la falta de instalaciones tecnológicas para la producción de semiconductores. En función de las necesidades de la cadena de suministro y de la orientación de las empresas ancla, estas instalaciones deberán ampliarse o construirse desde cero. El plan de acción propuesto para reforzar la infraestructura implica lo siguiente:

¹⁹ Mientras que el gobierno federal mexicano puede promover inversiones en semiconductores para el *nearshoring*, su enfoque será más general que el de cada uno de los estados de la república, que establecen prioridades de desarrollo específicas para la región y canalizar recursos para empresas locales.



- **Orientar las decisiones de inversión a través de métricas y datos relevantes.** Este mapa de ruta identificó los problemas generales de la infraestructura a nivel país y a nivel estatal. Sin embargo, se necesita una mayor granularidad para orientar las decisiones de inversión en cada localidad. Las empresas privadas mexicanas que buscan un papel en la cadena de suministro de SC deben, por lo tanto, crear métricas y generar datos en estrecha coordinación con las empresas ancla y los inversionistas que permitan evaluar: 1) las brechas de infraestructura que afectan directamente a la producción de la cadena de suministro, especialmente las relacionadas con el suministro de energía y agua, y 2) la disponibilidad de instalaciones especializadas necesarias para los colaboradores de la cadena de suministro de SC-CORE (Véase la Tabla I: Capacidades necesarias por etapa de la cadena de valor de SC en la Sección I).²⁰ Por ejemplo, ¿dispone la localidad de salas limpias, instalaciones de pruebas o equipos específicos necesarios para llevar a cabo una determinada tarea de la cadena de suministro? Si no es así, ¿puede el gobierno estatal, los bancos privados de desarrollo o las empresas regionales colaborar para financiar la adquisición de estas instalaciones en un plazo breve?
- **Aprovechar los recursos regionales.** Es probable que empresas y gobiernos locales de los Estados Unidos o Canadá estén dispuestas a invertir en proyectos binacionales que complementen la eficacia o resiliencia de sus propias empresas. Como resultado de la preocupación de los diversos actores que buscan contar con una cadena de suministro confiable y resiliente, los gobiernos nacionales han creado sólidos mecanismos de financiamiento. Tal es el caso del *CHIPS Act* de los Estados Unidos, que asignó 500 millones de dólares al Fondo Internacional de Seguridad Tecnológica e Innovación (ITSI) del Departamento de Estado.²¹ El ITSI puede utilizarse para conceder subvenciones a organizaciones internacionales que pretendan iniciar o ampliar actividades de ATP, un ámbito en el que México cuenta con un historial probado dentro de la cadena de suministro de semiconductores en Norteamérica. El ATP es también un área que el gobierno de Estados Unidos no está priorizando para su propio desarrollo nacional, una consideración importante que asegura el consenso político en cuanto al uso de las subvenciones.

Los gobiernos estatales mexicanos y los proyectos internacionales de desarrollo económico pueden apoyar el acceso de empresas locales a oportunidades de financiamiento regionales (Norteamérica), proporcionando asistencia técnica en la redacción de propuestas para recibir subvenciones, así como ayudando a identificar (o proporcionando directamente) fondos de

²⁰ La Embajada de Estados Unidos en México está apoyando dicho esfuerzo a través de subvenciones otorgadas a la Fundación México-Estados Unidos, cuyo "Grupo de Trabajo de Ally-Shoring" convocará una serie de foros de consulta centrados en SC entre 2024 y 2025 para establecer indicadores que permitan evaluar y medir objetivamente la preparación de las regiones mexicanas para utilizar con éxito la inversión en nearshoring para llevar a cabo actividades de NÚCLEO-SC.

²¹ 100 millones de dólares anuales durante cinco años, a partir de 2023, para promover el desarrollo y la adopción de redes de telecomunicaciones seguras y fiables y garantizar la seguridad y la diversificación de la cadena de suministro de semiconductores. El Fondo ITSI se destina a los países socios de EE.UU. que practican el nearshoring y es independiente de los recursos del Departamento de Comercio y otros organismos previstos en la misma Ley. <https://www.state.gov/the-u-s-department-of-state-international-technology-security-and-innovation-fund/>



contrapartida para aumentar el conjunto global de recursos disponibles.²² Otra importante fuente de financiamiento regional es el Banco de Desarrollo de América del Norte (NADBank), creado como resultado del TLCAN y que busca financiar las necesidades de agua y energía en los estados fronterizos de México y Estados Unidos. Los gobiernos estatales mexicanos deben proponer proyectos de infraestructura específicos para SC como parte de sus esfuerzos para obtener recursos del NADBank.

- **Enfocar los recursos financieros locales en el sector de SC.** La orientación de la asistencia para el desarrollo económico hacia las empresas locales es notoriamente errónea en todo el mundo. Las razones principales son la falta de priorización y de política: los fondos de desarrollo empresarial rara vez están vinculados a resultados económicos específicos (y carecen de métricas para establecer el desempeño). Al mismo tiempo, las empresas o sectores bien conectados o políticamente influyentes suelen acaparar la mayor parte de los recursos públicos. En este contexto, los gobiernos estatales deben de enfocar sus recursos hacia el desarrollo de iniciativas que promuevan el fortalecimiento de cadenas de suministro locales - no discrecionales- y dar prioridad a las oportunidades comerciales basadas en el potencial demostrado, en lugar de las conexiones. Esta determinación debe basarse en aportes de las partes interesadas, así como en datos confiables.²³

Los gobiernos estatales de México pueden promover la incorporación de empresas con potencial de participar en cadenas de suministro locales de semiconductores, dirigiendo el uso de recursos públicos para desarrollo económico a sectores estratégicos cuyo crecimiento generará conocimientos tecnológicos y empleos de calidad. La mayoría de los estados de la república mexicana asignan subsidios empresariales a través de su Secretaría de Desarrollo Económico (SEDECO). Para promover las oportunidades SC-CORE, las SEDECO deben modificar los criterios de selección de otorgamiento de subsidios para promover la participación de empresas en el sector de semiconductores, que podrían identificarse utilizando los datos y la metodología descritos anteriormente.²⁴ De esta manera, los estados pueden proporcionar el financiamiento directo (un incentivo clave para la inversión externa) que las empresas privadas necesitan para financiar las instalaciones para la producción de SC-CORE. También se requiere financiamiento para herramientas de software, bibliotecas de diseño de semiconductores, fábricas de prototipos, equipos de prueba, computadoras potentes y equipos ATP especializados (para empresas que deseen ingresar a la etapa de fabricación final de la cadena de suministro).

²² Los fondos de contrapartida no son un requerimiento estricto para obtener una subvención del ITSI. Sin embargo, como amplían los recursos totales y demuestran el compromiso del país anfitrión, se espera que los fondos de contrapartida hagan más atractivas las propuestas. Encontrará una explicación completa de los requerimientos de elegibilidad en la Sección C de <https://grants.gov/grantsws/rest/opportunity/att/download/330813>

²³ Consulte cómo los estados pueden dirigir el desarrollo económico a lugares y personas necesitados <https://www.pewtrusts.org/en/research-and-analysis/reports/2021/02/how-states-can-direct-economic-development-to-places-and-people-in-need>

²⁴ La gran mayoría del financiamiento local de la SEDECO proviene del gobierno nacional a través de una fórmula de asignación que dirige los ingresos fiscales federales a cada estado. Dado que es poco probable que los estados reciban significativamente más fondos federales para sus programas SEDECO, pueden priorizar a las empresas de SC cambiando cómo (y a qué tipo de empresas) se asignan los fondos.



Cadena de suministro

La viabilidad de crear una cadena de suministro regional de América del Norte dependerá de la eficacia de la cooperación binacional.²⁵ Si bien México participa en cadenas de suministro de clase mundial para industrias pesadas y exportaciones de maquila, carece de una presencia importante en la cadena de suministro dentro del segmento SC-CORE. Esta debilidad podría socavar la voluntad de las empresas norteamericanas de realizar grandes inversiones a largo plazo sin una estrategia eficaz. El plan de acción propuesto implica lo siguiente:

- **Facilitar iniciativas binacionales.** Los gobiernos y empresas de Estados Unidos y México deben colaborar y compartir información para identificar debilidades y oportunidades en la cadena de suministro regional del segmento SC-CORE. Dichos factores incluyen: la disponibilidad de una fuerza laboral calificada, la base de fabricación de productos electrónicos existente, la calidad y capacidad de la red eléctrica, el suministro de agua, el acceso a edificios industriales que puedan adaptarse para la producción de chips y regulaciones ambientalmente racionales y favorables a las empresas. Una vez identificadas las fortalezas y debilidades, los estados de la república mexicana pueden promover el acceso a instituciones binacionales que apoyen el desarrollo económico de Norteamérica. Por mencionar algunos ejemplos: en 2023, Jalisco se asoció con Intel para capacitar a 100 ingenieros en habilidades especializadas a través de la Ley Tech Hub del estado de Jalisco. Una de las organizaciones más importantes que convoca a los principales actores sectoriales es la Fundación México-Estados Unidos (USMF), que actualmente identifica a los semiconductores como un sector de alta prioridad dentro de su iniciativa de “ally-shoring” (una serie de conferencias corporativas, talleres de políticas, y foros tecnológicos). Además, múltiples eventos binacionales de 2024 están generando espacios para el diálogo entre Estados Unidos y México para identificar oportunidades regionales dentro del segmento SC-CORE (Canadá también ha participado en algunos de estos eventos):
 - El Foro de Colaboración para Semiconductores México-EUA SC celebrado en Guadalajara en febrero.
 - El primer foro del Semiconductor Alliance México (evento binacional para identificar oportunidades de colaboración para generar talento, también realizado en Guadalajara en junio).
 - El segundo Foro de Colaboración para Semiconductores México-EUA realizado en Tijuana en junio.

“La pandemia tuvo un impacto en todas las cadenas de suministro, incluidos nosotros. Hubo problemas con el control de las órdenes, atrasos en envíos, e incremento de precios. Tener una huella geográficamente diversa es importante para la resiliencia... tener fuentes múltiples también se ha convertido en una prioridad.”

Entrevistado de una empresa global de semiconductores con planta de ATP en México

²⁵ La mayor parte de la cooperación binacional de México en América del Norte será con la economía más grande del mundo, Estados Unidos. Sin embargo, Canadá también podría estar interesado en fortalecer las cadenas de suministro de SC mexicanas.



- El tercer North Capital Forum, que se centrará en los SC como un desafío clave de *nearshoring*, se llevará a cabo en México en octubre.
- **Vincular los estados mexicanos con la inversión estadounidense en FABS (Empresas de fabricación de chips).** Los gobiernos estatales mexicanos deberían colaborar estrechamente con universidades y asociaciones empresariales locales, para llevar a cabo un análisis sectorial que vincule la capacidad técnica específica de la región con las oportunidades de la cadena de suministro que surgen de la enorme ola de inversión en la fabricación de chips en Estados Unidos. Estos gobiernos deberán liderar la búsqueda de actividades locales dentro del segmento SC-CORE que complementen la fabricación de componentes que se llevará a cabo en fábricas multimillonarias que se construyen en los estados del suroeste de Estados Unidos y del cinturón industrial. De acuerdo con el mapa desarrollado por Statista (*New Microchip Construction Boom Map*),²⁶ 22 nuevos proyectos en nueve estados de Estados Unidos están programados para competir entre 2024 y 2028. Si los estados logran implementar mecanismos de colaboración y vinculación que les permitan acceder a información sobre las necesidades de dichos proyectos, se podrían identificar oportunidades en etapas de la cadena de suministro de semiconductores en las que México participa actualmente o podría participar potencialmente con mayor capacidad (por ejemplo, ATP y Materiales). Este informe ofrece un esfuerzo preliminar para llevar a cabo precisamente ese ejercicio de vinculación e identifica doce estados que están listos (o potencialmente pueden estar listos) para albergar actividades dentro del segmento SC-CORE. Los análisis sectoriales posteriores requerirán datos actualizados específicos de la industria y la participación de empresas ancla y locales para identificar oportunidades regionales específicas.
- **Comprender el impacto de las regulaciones.** Muchas regulaciones mexicanas, especialmente a nivel estatal y municipal, imponen costos innecesarios a las empresas, crean ambigüedad o incertidumbre y socavan la inversión. Como resultado, desalientan a las empresas ancla de semiconductores a asumir riesgos en el *nearshoring*, además de poner obstáculos a las empresas locales que consideran hacer inversiones para fortalecer su capacidad técnica. Es esencial que los gobiernos estatales propongan reformas que agilicen o reduzcan las cargas regulatorias innecesarias, e implementen mecanismos como el de “ventanilla única”²⁷ que simplifique, centralice y digitalice los procesos regulatorios que afectan a las actividades de semiconductores. USAID-México ha apoyado la reforma regulatoria a nivel estatal a través de numerosos proyectos de desarrollo económico, incluyendo el desarrollo de una metodología para identificar las reglas que inhiben la inversión. Cabe señalar que los estados de la república mexicana posicionados para convertirse en socios de la cadena de suministro de semiconductores pueden ayudar a su causa mediante la adquisición y difusión de información sobre las regulaciones para reforzar la salud fiscal de las empresas locales, como las que garantizan el comercio libre de impuestos bajo el T-MEC.

²⁶ Ver el mapa ¿Un nuevo auge en la construcción de microchips? <https://www.statista.com/chart/31834/new-projects-in-semiconductor-manufacturing-in-the-united-states/>

²⁷ <https://www.gob.mx/se/articulos/conoce-los-tramites-que-te-ofrece-la-secretaria-de-economia-desde-la-ventanilla-unica-nacional>



Fuerza laboral

Para progresar en una industria tan compleja y tecnológicamente sofisticada como la de los semiconductores, un país necesita talento. México cuenta con una fuerza laboral calificada en muchas industrias pertenecientes al segmento de SC-USER que requieren una estricta calidad de fabricación. Cuenta con una amplia (y creciente) oferta de ingenieros, mantiene una sólida red universitaria y el 47% de sus profesionales tecnológicos hablan inglés a un nivel avanzado o bilingüe (Coderslink, 2023). Al mismo tiempo, México carece de trabajadores y científicos con las habilidades específicas y la experiencia necesarias en la cadena de suministro de SC-CORE. La mayor parte de la formación profesional que es relevante para el sector de semiconductores es más académica que práctica, y tiene lugar en la universidad en lugar de en el puesto de trabajo, lo que limita la capacidad de los profesionales mexicanos para adquirir conocimientos técnicos relacionados con etapas específicas de la cadena de valor extendida de semiconductores del mapa de ruta.

Aunque la mejora de los programas STEM en escuelas y universidades es loable, estos esfuerzos suelen beneficiar a muchos sectores en general y tardan mucho tiempo en producir resultados. Para promover mejoras a corto y mediano plazo en la fuerza laboral de semiconductores, el plan de acción propuesto conlleva lo siguiente:

- **Centrarse en la enseñanza superior:** La mayoría de los países están de acuerdo en que hay que mejorar la educación primaria en STEM. México (junto con Estados Unidos) está sin duda en esta lista. Sin embargo, aunque la mayoría de los observadores están de acuerdo con el objetivo de reforzar las matemáticas y las ciencias de kínder a secundaria, se trata de una respuesta a largo plazo a un problema grande y bastante genérico. Incluso si los esfuerzos de reforma tienen éxito – y la condicionante es grande- tales mejoras no serán lo suficientemente rápidas o específicas como para asegurar el lugar de México en la cadena de suministro de semiconductores de Norteamérica. Teniendo en cuenta esta advertencia, el cambio a corto plazo debe producirse en el ámbito universitario, como se señaló en las entrevistas realizadas para este mapa de ruta: “Necesitamos revitalizar los programas [universitarios] con módulos de manejo de software de microelectrónica y Automatización de Diseño Electrónico. Ya no es necesario aprender a diseñar en una tableta *proto board* como hace 50 años”, afirmó un experto en diseño de semiconductores.

Existe una oportunidad de mejora a nivel estatal, donde los gobiernos locales pueden modernizar los programas educativos a nivel técnico y universitario. Pueden colaborar estrechamente con el sector privado de semiconductores para crear planes de estudios que maximicen el impacto en el mercado local ampliando las especializaciones universitarias y de posgrado existentes. Los esfuerzos locales -especialmente en Baja California y Sonora- apoyan la creación de una fuerza laboral competente en semiconductores (véase la Sección 3.5, Evaluación de la preparación de los estados.). Una de las mejores prácticas internacionales -replicada localmente- es la Iniciativa nacional de canalización de talentos en semiconductores, cuyo objetivo es aumentar el número de graduados estadounidenses en campos relacionados con semiconductores en un 50% para 2030. Otro ejemplo es el Programa de Desarrollo de Talentos en Semiconductores de Corea del Sur, que apoya las asociaciones entre la universidad y la industria para desarrollar planes de estudios relacionados con la industria de los



semiconductores y ofrecer formación práctica a los estudiantes. Más cerca de nuestro país, la Secretaría de Economía de México ha firmado recientemente un acuerdo con Intel para proporcionar capacitación tecnológica a largo plazo a los trabajadores locales que contribuyen al sector de los semiconductores.²⁸ El ministro de Economía también está trabajando con ASU para expandir el acceso al programa de capacitación de inglés para semiconductores de dicha universidad, de modo que estudiantes de todo el país puedan acceder.

- **Aumentar la oferta de técnicos:** Si bien las actividades de SC-CORE requieren decenas de ingenieros altamente calificados que dominen el inglés técnico/científico, también requieren conocimientos prácticos relacionados con el funcionamiento y el mantenimiento rutinarios. En este sentido, los estados de la República Mexicana pueden tomar la iniciativa en la expansión de programas de formación profesional que produzcan técnicos calificados en SC, especialmente para oportunidades de nicho vinculadas a las necesidades de las fábricas estadounidenses actualmente en desarrollo, como ATP. A nivel local, existen ejemplos exitosos de empresas ancla, como Volkswagen México, que han creado sus propias escuelas técnicas para enseñar habilidades específicas de la industria, al tiempo que ofrecen becas para sus pasantes y oportunidades potenciales de contratación en Volkswagen. Además de ayudar a incorporar algunas de estas habilidades en los planes de estudio de las universidades locales.

El sistema educativo estadounidense ofrece lecciones que los estados mexicanos pueden adaptar para promover el potencial económico de los trabajadores que carecen de tiempo, dinero o interés para adquirir un título universitario formal de cuatro años. Estados Unidos cuenta con más de mil colegios comunitarios (community colleges o CCs), muchos de los cuales desarrollan planes de estudio en colaboración con empresas locales con necesidades específicas de fuerza laboral. Estas asociaciones locales han tenido un éxito considerable, aunque la adecuación de las necesidades del sector privado a la creación de talento local siempre puede optimizarse con mejores consultas y métricas. La Harvard Business School evaluó recientemente la capacidad de respuesta de los CC a las necesidades del mercado laboral y propuso un modelo impulsado por tres objetivos: 1) promover alianzas entre los CCs y los empleadores locales para asegurar que los planes de estudio estén "alineados con las necesidades de la industria"; 2) crear relaciones que resulten en el reclutamiento y contratación de estudiantes de los CCs, y 3) ajustar el contenido de los cursos con base en datos actuales y confiables del mercado laboral.²⁹ Los gobiernos estatales mexicanos pueden adaptarse a este modelo colaborando con las partes interesadas de los CC locales para aumentar la oferta de técnicos ATP generada por instituciones de formación profesional mexicanas como el CONALEP y el Tec Milenio. Además, todos los cursos deberían ir acompañados de un curso de inglés para semiconductores.

En cuanto al desarrollo de capacidades técnicas, un entrevistado aclaró que las instituciones educativas mexicanas no necesitan reinventar la rueda. Los pequeños pasos hacia un SC-CORE nacional siguen siendo cruciales:

²⁸ Véase <https://www.gob.mx/se/es/articulos/la-secretaria-de-economia-e-intel-apuestan-por-el-fortalecimiento-de-la-cadena-de-suministro-de-semiconductores-en-mexico-299721?idiom=es>

²⁹ Véase Joseph Fuller and Manjari Raman. *The Partnership Imperative: Community Colleges, Employers and America's Chronic Skills Gap*. Harvard Business School. diciembre 2022. <https://www.hbs.edu/managing-the-future-of-work/Documents/research/The%20Partnership%20Imperative%2012.12.2022.pdf>



“Ahora mismo [...] no necesitamos físicos de semiconductores ni ingenieros de semiconductores; necesitamos ingenieros electrónicos con fundamentos sólidos en microelectrónica”

Entrevistado, experto en semiconductores

Las inversiones de Estados Unidos en semiconductores para cerrar las brechas de talento,³⁰ deben alinearse con el ecosistema norteamericano de SC, esto para impulsar el crecimiento del sector de SC en alianza con México y Canadá y para producir el 20 por ciento de los chips lógicos de vanguardia del mundo en 2030 (por ejemplo, Iniciativa SAM-TAP).³¹

- **Aumentar la participación de las mujeres:** La desigualdad de género -además de ser indeseable en sí misma- reduce la oferta de trabajadores en campos técnicos, pues en México sólo 30% de los puestos STEM son ocupados por mujeres (IMCO, 2022).³² Esta estadística es consistente con el promedio mundial de participación en STEM según el Informe Global de Brecha de Género del WEF (2023).³³

Los gobiernos estatales deben tomar la iniciativa adoptando políticas públicas que garanticen la inclusión de género, horarios de trabajo flexibles, opciones de trabajo a distancia, políticas de permisos parentales para el cuidado de los hijos, así como de las tareas del cuidado y del hogar que afectan desproporcionadamente a las mujeres. Una sólida colaboración entre los funcionarios de gobierno y las empresas locales puede fomentar una cultura de inclusión y tutoría, en la que las mujeres sean valoradas por el sector privado y capacitadas para tener éxito en el mundo empresarial. Este esfuerzo puede implicar la creación de grupos de recursos de empleados (GRE) para mujeres en campos STEM. Las asociaciones público-privadas también pueden invertir en capacitación y mejora de las calificaciones ofreciendo programas centrados en mujeres con formación en STEM que se incorporen al sector de semiconductores, aunque carezcan de experiencia directa. Una forma menos directa de influir en las mujeres para que participen en el sector de semiconductores podría ser promoviendo modelos de conducta e historias de éxito de mujeres en el sector. Esto puede inspirar y motivar a otras mujeres a seguir caminos similares.



Innovación

El sector de semiconductores parece generar un avance tecnológico cada pocos años. La disrupción en esta industria es rutinaria, y las empresas que no sepan aprovechar y sacar partido de tales cambios harán la indeseable transición de participante activo a espectador. Incluso las mayores empresas tecnológicas, como Intel, se han visto sorprendidas y han perdido cuota de mercado frente a competidores más ágiles. Si bien México no está bien posicionado para producir avances fundamentales en el campo de semiconductores, las empresas mexicanas que aspiran a formar parte de la cadena de

³⁰ <https://www.mckinsey.com/industries/semiconductors/our-insights/new-tactics-for-new-talent-closing-us-semiconductor-labor-gaps>

³¹ <https://www.niica.org/sam-tap-announcement>

³² <https://imco.org.mx/mujeres-en-stem-en-los-estados/>

³³ https://www3.weforum.org/docs/WEF_GGGR_2023.pdf

suministro deben ser capaces de navegar en las olas de la innovación que periódicamente sacuden al sector. Es decir, aunque no lleven a cabo I+D original, ni produzcan patentes valiosas de forma independiente, deben comprender e incorporar las innovaciones con rapidez y a bajo costo. Gran parte de la capacidad de México para incorporar innovaciones está impulsada por las grandes empresas extranjeras. Aunque eso no cambiará, los gobiernos estatales mexicanos y las empresas del sector privado necesitan crear economías subregionales impulsadas por el mercado interno, capaces de incorporar avances tecnológicos para reducir costos, producir bienes superiores o a medida, y encontrar nuevas aplicaciones para las industrias del SC-USER. El plan de acción propuesto implica lo siguiente:

- **Reutilización de la I+D nacional.** Aunque México es cuna de una cantidad considerable de I+D, esas actividades son demasiado pequeñas y generales para generar un cambio en lo que se refiere al rendimiento y la adaptación en las actividades SC-CORE de alta tecnología. Aprender a aprovechar la innovación en este sector requerirá financiamiento tanto del sector privado como del público que se enfoque en los procesos de semiconductores, como Materiales, Diseño y ATP, y en el mantenimiento y la mejora de la infraestructura existente que los acompaña. Para que esto suceda será necesaria una estrecha colaboración entre las universidades mexicanas, las empresas que ya utilizan tecnología punta y el Conahcyt.
- **Promover la transferencia de tecnología.** Algunos países que se industrializaron tarde lo hicieron muy rápido, y una de sus herramientas más importantes fue la transferencia de tecnología. Los países de Asia Oriental, como Japón, Corea del Sur, Taiwán y China, han sido especialmente hábiles a la hora de utilizar acuerdos de licencia tecnológica para conocer y aprovechar la PI extranjera. Para adquirir conocimientos técnicos y mejorar sus capacidades de fabricación de semiconductores, muchas empresas asiáticas han forjado alianzas estratégicas con importantes empresas tecnológicas extranjeras. Un buen ejemplo es el Centro de Competencia para la Transferencia de Tecnología de la Comisión Europea, que ofrece conocimientos y servicios de formulación de políticas a la Comisión Europea y otras instituciones de la Unión Europea (UE).

El uso eficaz de la transferencia de tecnología requiere un nivel considerable de sofisticación nacional y una fuerza laboral calificada. México posee los recursos humanos y de capital necesarios para aprovechar la transferencia de tecnología en sectores clave como el automovilístico, el aeroespacial y productos electrónicos de consumo. No hay ninguna razón para creer que no pueda hacer lo mismo en el ámbito de los semiconductores. Pero, como ocurre con cualquier iniciativa, las partes interesadas locales deben hacer su tarea. Existen numerosos tipos de acuerdos de transferencia de tecnología, y ninguno de ellos es “estándar.”³⁴ Una vez más, los gobiernos estatales mexicanos se encuentran en una posición única para apoyar a las empresas locales de semiconductores mediante la sensibilización y la generación de conocimientos sobre esta característica desconocida pero esencial de la innovación.

³⁴ Véase el debate sobre los tipos de acuerdo de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual en <https://www.wipo.int/web/technology-transfer/agreements#:~:text=Technology%20transfer%20licensing%20agreements,spelled%20out%20in%20the%20agreement.>



Emprendimiento

Mientras que empresas muy grandes y sofisticadas diseñan los últimos chips y controlan su producción, el establecimiento de una cadena de suministro regional de semiconductores requerirá la puesta en marcha y el funcionamiento con éxito de empresas del mundo real. Los sectores de alta tecnología suelen depender de un gran número de empresas de nueva creación para suministrar bienes y servicios altamente especializados. México posee un potencial empresarial sin explotar que puede materializarse a través del capital riesgo (VC, por sus siglas en inglés) norteamericano, que puede apoyar a las empresas de nueva creación y a las empresas derivadas de la investigación. Al mismo tiempo, las empresas ancla buscan colaboradores de la cadena de suministro en los que puedan confiar a largo plazo.

Aunque el costo y la experiencia técnica son consideraciones fundamentales, las empresas transnacionales también quieren trabajar con socios que hayan demostrado buenas prácticas de gobernanza corporativa. En otras palabras, la buena gobernanza es un elemento esencial (pero a menudo infravalorado) del emprendimiento. Para convertirse en un socio viable en la cadena de suministro regional de SC, las *startups* mexicanas no sólo deben adquirir capacidad técnica, sino también adoptar o mejorar sus medidas internas de integridad empresarial para institucionalizar la ética y evitar cualquier forma de corrupción en las operaciones cotidianas. El plan de acción propuesto implica lo siguiente:

- **Vincular las *startups* mexicanas con Fondos de Capital Ángel o de riesgo (VC).**

Estados Unidos ya alberga un número significativo de fondos de capital de riesgo (VC) que invierten en nuevas empresas de México, el segundo mayor mercado de *startups* de América Latina.³⁵ Muchos de estos fondos buscan activamente invertir en empresas tecnológicas mexicanas, que están cada vez mejor posicionadas para generar grandes retornos. Sin embargo, acceder a estos fondos (o incluso recibir su atención) requiere una gran preparación. Incluso las empresas mexicanas con conocimientos técnicos y proyectos de semiconductores viables carecerán probablemente de los conocimientos y la experiencia necesarios para aprovechar estos vastos recursos financieros. Los fondos de capital riesgo sólo se dirigen a startups con productos prometedores, y casos de negocio que puedan preparar y presentar argumentos de alta calidad. Los gobiernos estatales pueden desempeñar un papel fundamental a la hora de ayudar a las empresas locales que carecen de dicha experiencia para poner los proyectos en marcha, especialmente poniéndolas en contacto con consultores de desarrollo empresarial (e incluso proporcionándoles fondos) que puedan apoyar a las empresas locales cómo navegar por las aguas desconocidas del capital riesgo.

³⁵ Para obtener una lista y una breve descripción de los fondos con sede en EE.UU. que proporcionan el mayor nivel de apoyo a las nuevas empresas mexicanas, consulte Kelly Alica Liman. "Top 20 VC Funds and Angel Investors in Mexico." XYZLab. https://www.xyzlab.com/post/vc-funds-angel-investors-mexico#google_vignette. An international industry list of sector-specific SC VCs is available at <https://incubatorlist.com/top-semiconductors-startup-accelerators-incubators-and-vcs/>



- **Apoyar la incubación de empresas de semiconductores.** Aunque México cuenta con un número considerable de desarrolladoras e incubadoras de nuevas empresas, casi todas ellas están centradas en industrias establecidas. Sin embargo, el país carece de aceleradoras de *startups* enfocadas en semiconductores. Incluso Estados Unidos, potencia mundial en desarrollo de nuevos negocios, cuenta con menos instalaciones SC-CORE de las que el sector desearía. Como decía una revista técnica hace diez años, incluso en Silicon Valley, cuando se trata de oportunidades para impulsar este sector, "las nuevas empresas de semiconductores se han sentido excluidas."³⁶ Una de las principales razones de la falta de programas para desarrollo de negocios en semiconductores, es la percepción de que el sector requiere enormes inversiones -a lo largo de muchos años- para construir algo útil, lo que lleva a empresarios e inversores a concentrarse en partes del sector tecnológico que son más rápidas de implementar, como el desarrollo de software y aplicaciones.

Incluso hoy en día, la incubación de semiconductores en Estados Unidos es limitada,³⁷ aunque con potencial crecer tras la aprobación del *CHIPS Act*. El tiempo, el costo y la especialización de las instalaciones parecerían excluir la posibilidad de que empresas mexicanas localizadas en Estados Unidos pudieran participar. Sin embargo, eso no significa que las nuevas empresas mexicanas no puedan beneficiarse de oportunidades para desarrollo de negocios. Los fondos estatales mexicanos de desarrollo económico (SEDECOs) pueden reducir esta brecha colaborando con programas empresariales universitarios, parques industriales y centros de I+D -en ambos lados de la frontera- para aumentar el acceso de las *startups* mexicanas a aceleradoras especializadas en Estados Unidos y Canadá, haciendo posible que adquieran el know-how necesario para atraer capital de riesgo. Para hacerlo eficazmente será necesario que los funcionarios de los gobiernos estatales conozcan y establezcan contacto con aceleradoras o incubadoras que operan lejos de las empresas locales que necesitan sus servicios.

México alberga dos casos de éxito de que sirven de referencia para futuros esfuerzos: los centros de diseño que Intel y Synopsys instalaron en el estado de Jalisco. Ambos surgieron de un grupo de expertos del CINVESTAV-GDL impulsados en la misma institución. El centro de Intel incluso inició operaciones durante su estancia en el CINVESTAV. El centro Synopsys fue inicialmente una *startup* llamada First Pass Engineering, incubada en el CINVESTAV y posteriormente adquirida por Synopsys.

- **Promover medidas de integridad.** Promover la adopción de medidas de integridad es esencial para los socios de la cadena de suministro de América del Norte. No solo es un requerimiento a través de tratados y acuerdos internacionales, como el Capítulo 6 del T-MEC y leyes de integridad estandarizadas a nivel mundial como el FCPA, sino que también es importante para la eficiencia económica y los insumos de bajo costo. Las empresas necesitan confiar en los socios con los que harán negocios durante décadas. Por esta razón, el sector privado, apalancado a través de clústeres y cámaras empresariales, debe adoptar prácticas de integridad para abastecer a las empresas ancla o contrapartes de primer nivel en las actividades

³⁶ "Semiconductor Start-ups Get Their Own Accelerator," IEEE Spectrum. 17 de diciembre de 2014. <https://spectrum.ieee.org/semiconductor-startups-get-their-own-accelerator>

³⁷ Algunos ejemplos son: Western Semiconductor Incubator Program (Arizona), Silicon Valley Incubator (California), Plug And Play (multiple US and Canadian locations). The semiconductor incubator Silicon Catalyst operates in the UK and Israel.



de SC-CORE. La tarea pendiente de las empresas que deseen participar en la cadena de suministro de semiconductores es desarrollar sus propios protocolos de integridad que apliquen a sus socios de la cadena de suministro y que sirvan de marco para construir ecosistemas semiconductores de confianza. Entre los protocolos - que deben adoptar se encuentran los códigos de conducta (incluyendo el acuerdo de todos los empleados), capacitación para identificar y prevenir el soborno y los conflictos de interés, y la protección estricta de la tecnología patentada. Al incorporar prácticas de integridad, las empresas mexicanas fortalecerán la resiliencia de la cadena de suministro, ayudando a las empresas ancladas a minimizar riesgos como la corrupción, la responsabilidad legal, el incumplimiento normativo y el robo de propiedad intelectual. Las empresas deben tener sus propios procesos de integridad documentados, independientes, pero alineados con los requerimientos de sus clientes.



Sostenibilidad

Para muchos, la sostenibilidad es un término general que se refiere a la protección del medio ambiente y la conservación de la biodiversidad. Este mapa de ruta concibe la sostenibilidad en términos de prácticas de "economía circular" que garanticen la viabilidad económica a largo plazo de las operaciones de SC-CORE. Como veremos, aunque esta concepción de la sostenibilidad es muy compatible con los objetivos medioambientales, la motivación principal es la reducción de costos y la eficiencia, a través de la vigilancia tecnológica. El plan de acción propuesto implica lo siguiente:

- **Adopción de prácticas de economía circular.** Mediante la adopción de prácticas de Economía Circular por parte de las empresas, los responsables de las políticas públicas pueden crear e implementar incentivos fiscales y programas financiados con fondos públicos, para mejorar las capacidades de los responsables medioambientales de las empresas. Además, se pueden promover prácticas ecológicas estandarizadas en todos los procesos de semiconductores, especialmente reducir el uso de energía y agua, y minimizar los residuos. Es importante crear incentivos fiscales para que las empresas incorporen normativas medioambientales, que amplíen los ciclos de vida de los productos o desbloqueen segundos ciclos de vida para los componentes y materiales utilizados. Países como Japón han establecido políticas de Economía Circular con estrategias claras de reducción de residuos, reutilización y reciclaje, lo que se conoce como el "círculo virtuoso" de Japón.

Como se mencionó durante la entrevista con un representante de una empresa global de semiconductores de una planta de ATP en México:

"[Es clave tener] claridad sobre la disponibilidad de recursos e infraestructuras para las necesidades de los SC, concretamente en agua y electricidad. Identificar el potencial de suministro de agua en una zona específica o la disponibilidad de energía para apoyar un centro de fabricación.

La sostenibilidad de los recursos puede impulsarse utilizando mecanismos políticos y aplicando una estrategia pública que garantice la seguridad y resiliencia de los recursos clave. Esta estrategia debe incluir inversiones en infraestructuras y prácticas de gestión sostenible de los recursos.

CONCLUSIÓN

En 1980, México produjo alrededor de medio millón de vehículos automotores, en su mayoría vehículos de pasajeros y camionetas. Una década más tarde, cuando la sustitución de importaciones dio paso a la maquilada, ese número aumentó alrededor de 800,000 unidades. Cuando el Tratado de Libre Comercio de Norteamérica (TLCAN) entró en vigor en 1994, la inversión estadounidense y la creciente demanda mexicana aumentaron la producción en alrededor de un millón de unidades. Para 2023, a pesar de ser sólo la decimoquinta economía nacional, México se ha convertido en el séptimo fabricante de automóviles del mundo, produciendo más de 4 millones de automóviles y camionetas.

Quizás más allá del creciente número total de unidades, sea el origen de los insumos automotrices de México. En los últimos 30 años, el país pasó de ser un ensamblador de piezas importadas de valor agregado relativamente bajo, a crear un ecosistema vasto y complejo de ensamblaje y producción de la mayoría de los componentes de vehículos. Según una publicación de la industria, “aunque las piezas se enviaban originalmente desde Japón, la aparición de proveedores locales impulsó un aumento constante del contenido local.”

La evolución del sector automotriz mexicano es una de las historias de mayor éxito industrial del mundo, provee lecciones importantes para la apuesta del país por ampliar su papel en la cadena de suministro de semiconductores. México aprovechó ventajas competitivas y políticas para convertirse en líder mundial en la producción de vehículos: el gran mercado interno, proximidad al mercado estadounidense, una serie de acuerdos comerciales que redujeron o eliminaron los aranceles sobre las piezas, una promoción agresiva de la inversión extranjera directa y una fuerza laboral altamente calificada.

Hoy, México está preparado para replicar el éxito del sector automotriz en el mundo de alta tecnología de los semiconductores. Por un lado, sus atributos geográficos, demográficos, logísticos y comerciales hacen casi inevitable un mayor *nearshoring* de semiconductores. Por otro lado, las ventajas actuales de México no garantizan su lugar como actor importante en este sector altamente estratégico.

Pocos habrían predicho que México a principios de la década de 1990 se convertiría en el hogar de innumerables fábricas que producirían enormes cantidades de algunos de los automóviles y camionetas más populares del mundo. Del mismo modo, en 2024, México aún no es un candidato para albergar una red de instalaciones de ATP y/o instalaciones de otro tipo que apoyen la cadena de suministro de Norteamérica. Sin embargo, las mega-inversiones en Norteamérica podrían moldear el futuro económico del país. México tiene la ubicación, la infraestructura y el talento para hacer realidad este futuro.

REFERENCIAS

Buchholz, K. (marzo 2024). A New Microchip Construction Boom? Statista <https://www.statista.com/chart/31834/new-projects-in-semiconductor-manufacturing-in-the-united-states/>

Centro de Ciencias Básicas (s.f.). Ingeniería Electrónica <https://www.uaa.mx/portal/wp-content/uploads/2024/02/Ing.-en-Electronica.pdf>

Consortio Mexicano de Microsistemas (s.f.) <https://cmm.org.mx/>

Diario Oficial de la Federación (2023). DECRETO por el que se otorgan estímulos fiscales a sectores clave de la industria exportadora consistentes en la deducción inmediata de la inversión en bienes nuevos de activo fijo y la deducción adicional de gastos de capacitación, https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5704676&fecha=11/10/2023#gsc.tab=0

Embajada y Consulado de Estados Unidos en México (abril 2021) Foro Bilateral México-Estados Unidos Sobre Educación Superior, Innovación E Investigación, <https://mx.usembassy.gov/es/foro-bilateral-mexico-estados-unidos-sobre-educacion-superior-innovacion-e-investigacion-fobesii/>

European Parliament Topics, (mayo 2023) Circular Economy: Definition, Importance and Benefits. <https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20151201STO05603/circular-economy-definition-importance-and-benefits#:~:text=The%20circular%20economy%20is%20a,reducing%20waste%20to%20a%20minimum>

González, L. (mayo 2022). Armadoras perdieron 210,000 mdd en 2021 por escasez de chips, El Economista <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/AMIA-estima-que-la-industria-automotriz-mundial-perdio-210000-millones-de-dolares-en-2021-20220526-0060.html>

IMCO Centro de Investigación en Política Pública (febrero 2022). En México, solo 3 de cada 10 profesionistas STEM son mujeres, [En México, solo 3 de cada 10 profesionistas STEM son mujeres \(imco.org.mx\)](https://imco.org.mx)

Instituto Mexicano para la Competitividad (junio 2023) Índice de Competitividad Estatal, <https://imco.org.mx/indice-de-competitividad-estatal-2023/#:~:text=El%20Índice%20de%20Competitividad%20Estatal%20del%20Instituto%20Mexicano%20para%20la,y%20de%20empleo%20en%20ellas>

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (s.f.). Ingeniería Electrónica <https://carreras.iteso.mx/ingenieria-electronica>

International Data Corporation (IDC) (diciembre 2023). The Semiconductor Market Will Recover in 2024 With an Annual Growth Rate of 20%, Says IDC, <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prAP51603223>

International Trade Administration (septiembre 2021). High Level Economic Dialogue, <https://www.trade.gov/hled>

Ji, K. ;Nauta,L. ; Powell, J. Rabobank(junio 2023) Mapping Global Supply Chains – The Case of Semiconductors [Mapping Global Supply Chains – The Case of Semiconductors - Rabobank](#)

Magallanes, A. (mayo 2023). Milenio. Hay 20 proyectos de inversión para La Laguna de Durango: Desarrollo Económico [Durango. 20-proyectos inversión para La-Laguna: Desarrollo Económico - Grupo Milenio](#)

McKinsey Global Institute (s.f.) What are the main traded sectors and who are the main trade partners of an economy? [What are the main traded sectors and who are the main trade partners of an economy?](#) | McKinsey

Miller, C. Talbot, D. (agosto 2023) Foreign Affairs. Mexico's Microchip Advantage, The Right Way to Shift the Semiconductor Supply Chain Away From China <https://www.foreignaffairs.com/mexico/mexicos-microchip-advantage-semiconductor-china>

Moore, S.K. (marzo 2023). Spectrum. How and When the Chip Shortage Will End, in 4 Charts <https://spectrum.ieee.org/chip-shortage>

Morales, R. El Economista (septiembre 2022) El *nearshoring* comenzará a acelerarse en México: Index, <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/El-nearshoring-comenzara-a-acelerarse-en-Mexico-Index-20220921-0048.html>

Office of the United States Trade Representative (2022). Mexico Trade & Investment Summary, <https://ustr.gov/countries-regions/americas/mexico>

Office of the United States Trade Representative, (2023). Sheet: 2023 U.S.-Mexico High-Level Economic Dialogue, <https://ustr.gov/about-us/policy-offices/press-office/fact-sheets/2023/september/fact-sheet-2023-us-mexico-high-level-economic-dialogue>

Posgrados, CONAHCYT (s.f.) <https://posgrados.inaoep.mx/oferta-academica/posgrado-en-electronica>

Programa de Maestría en Ciencias, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, (s.f.) <https://unidad.gdl.cinvestav.mx/programas.html>

Querétaro TECNM (2024). Community College Initiative Mexico Program, <https://queretaro.tecnm.mx/wp-content/uploads/2023/07/Mexico-Recruitment-Cycle-FAQ.pdf>

Red MicroFab MX (2023) www.cuartoslimpiosmexico.com

Roadmap to 2050: Canada's Semiconductor Action Plan, IRP (noviembre 2021) <https://irp.cdn-website.com/e5abb5aa/files/uploaded/Canadas-Semiconductor-Action-Plan.pdf>

Secretaría de Educación Pública (diciembre 2023). Presentan SEP y Economía programa Talento Mexicano en Colegios Comunitarios de EE. UU, <https://www.gob.mx/sep/articulos/comunicado-conjunto-58-presentan-sep-y-economia-programa-talento-mexicano-en-colegios-comunitarios-de-ee-uu>

Secretaría de Economía (s.f.). About United States
[https://www.economia.gob.mx/datamexico/en/profile/country/estados-unidos#:~:text=In%20the%20period%20January%20to,México%20\(US%24982M\)](https://www.economia.gob.mx/datamexico/en/profile/country/estados-unidos#:~:text=In%20the%20period%20January%20to,México%20(US%24982M))

Secretaría de Economía, (s.f.). Electrical, Electronic Equipment,
<https://www.economia.gob.mx/datamexico/en/profile/product/electrical-electronic-equipment>

Secretaría de Economía (s.f.) T-Mec Investing in Mexico,
https://www.economia.gob.mx/files/gobmx/canada/tmec_investing_in_mexico.pdf

Shivakumar, S; Wessner, C; Howell, T. (septiembre 2022) Center for Strategic and International Studies. Can Semiconductor Reshoring Prime a U.S. Manufacturing Renaissance?
<https://www.csis.org/analysis/can-semiconductor-reshoring-prime-us-manufacturing-renaissance>

The White House (2021). Building Resilient Supply Chains, Revitalizing American Manufacturing, and Fostering broad-based Growth
<https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2021/06/100-day-supply-chain-review-report.pdf>

The White House (2021). Fact Sheet: Biden-Harris Administration Announces Supply Chain Disruptions Task Force to Address Short-Term Supply Chain Discontinuities,
<https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/06/08/fact-sheet-biden-harris-administration-announces-supply-chain-disruptions-task-force-to-address-short-term-supply-chain-discontinuities/>

Universidad Autónoma de Baja California (2021). Ingeniero en Semiconductores y Microelectrónica, Plan de Estudios http://web.uabc.mx/formacionbasica/FichasPE/Ingenieria_en_Electronica.pdf

Universidad Autónoma de Baja California (2023). Ingeniero en Semiconductores y Microelectrónica
https://ingenieria.mx1.uabc.mx/pe_ism/index.php/mision-y-vision

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (2023) Maestría en Ingeniería Eléctrica,
<https://www.uacj.mx/oferta/programas.html?programa=45700&222>

Universidad Panamericana Aguascalientes (2023). Ingeniería Bioelectrónica
<https://movil.up.edu.mx/ags/ingenieria-bioelectronica>

Universidad de Sonora (2023). Ingeniería en Semiconductores
<https://ofertaeducativa.unison.mx/division-de-ciencias-exactas-y-naturales/ingenieria-en-semiconductores/>



U.S. Department of Defense, (2023). DOD Advances Microelectronics Commons to Build Domestic Semiconductor Industry, Workforce,
<https://www.defense.gov/News/Releases/Release/Article/3671111/dod-advances-microelectronics-commons-to-build-domestic-semiconductor-industry/>

Vázquez, C. CodersLink (marzo 2023). English Fluency Among Mexico's Tech Professionals & Why It Matters When Hiring Developers
[English Fluency Among Mexico's Software Developers \(coderslink.com\)](https://coderslink.com/english-fluency-among-mexico-software-developers)

