



MÉXICO y la Cadena de Valor de los Semiconductores

Oportunidades de cara al
nuevo escenario global

Agustín Filippo
Carlos Guaipatín
Lucas Navarro
Federico Wyss

Abril de 2022

MÉXICO

y la Cadena de Valor de los Semiconductores

Oportunidades de cara al
nuevo escenario global

Abril de 2022

Agustín Filippo
Carlos Guaipatín
Lucas Navarro
Federico Wyss



División de Competitividad,
Tecnología e Innovación

Representación en México

**Catalogación en la fuente proporcionada por la
Biblioteca Felipe Herrera del
Banco Interamericano de Desarrollo**

México y la cadena de valor de los semiconductores: oportunidades de cara al nuevo escenario global / Agustín Filippo, Carlos Guaipatín, Lucas Navarro, Federico Wyss.

p. cm. — (Monografía del BID ; 1017)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Integrated circuit layout-México. 2. Mexico-Commerce. 3. Industries-Mexico. I. Filippo, Agustín. II. Guaipatín, Carlos. III. Navarro, Lucas. IV. Wyss, Federico. V. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Competitividad, Tecnología e Innovación. VI. Banco Interamericano de Desarrollo. Representación en México. VII. Serie.

IDB-MG-1017

Clasificaciones JEL: L60, L63, F10, F60, F63, O14

Palabras clave: microelectrónica, comercio, manufactura, industria, América Latina y el Caribe, desarrollo económico

Código de publicación: IDB-MG-1017

Copyright © 2022 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



Banco Interamericano de Desarrollo
1300 New York Avenue, N.W.
Washington, D.C. 20577
www.iadb.org

Tabla de contenido

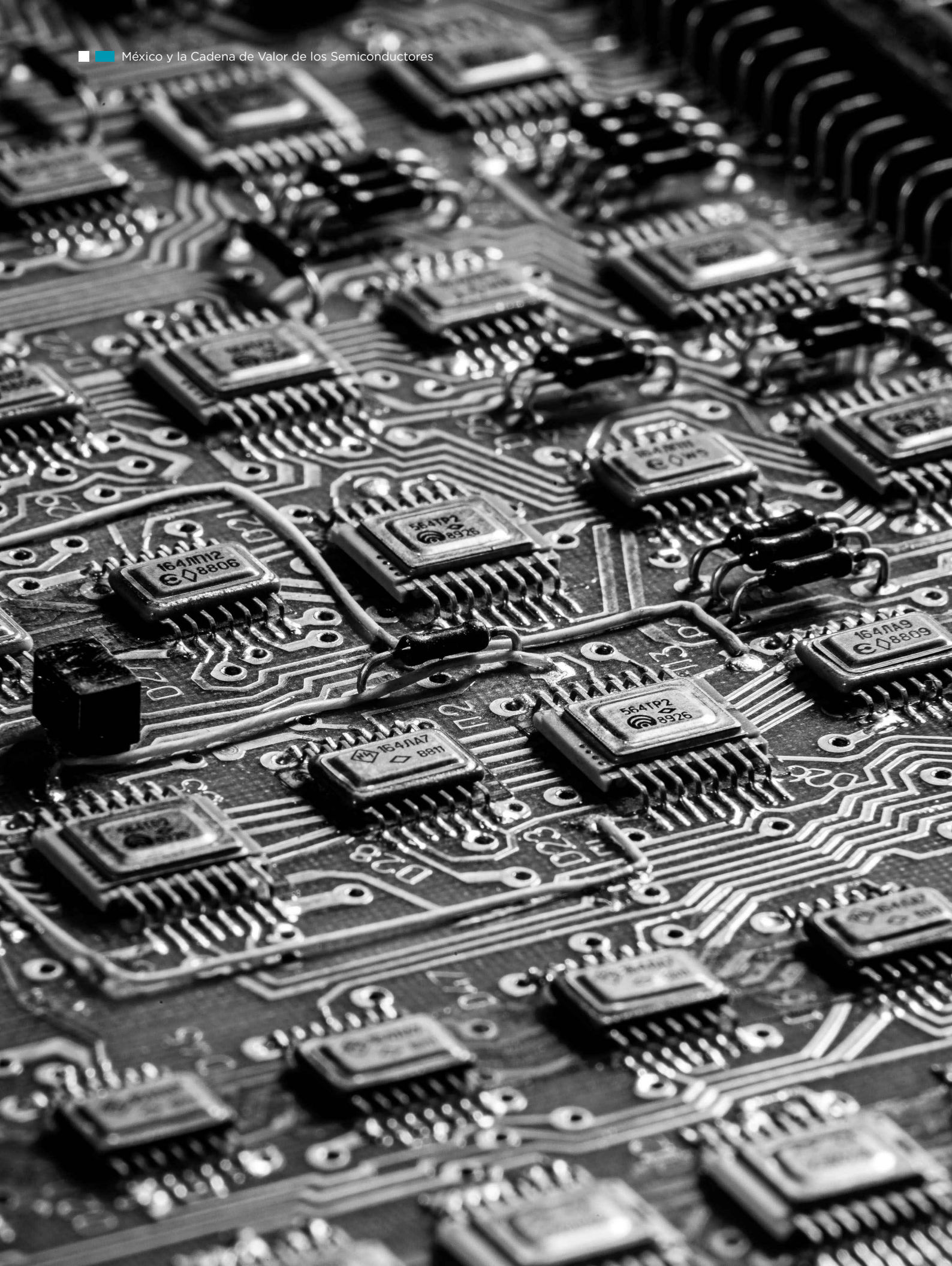
1. Introducción	2
2. La Cadena de Valor de los Semiconductores	4
2.1. ¿Qué es un semiconductor? Definición y clasificación	4
2.2. El avance tecnológico en la cadena de los semiconductores	6
2.3. Mapeo de la Cadena y modelos de negocio asociados	9
2.3.a. Estructura de la cadena de valor de los semiconductores	9
2.3.b. Modelos de negocio	11
2.4. La especialización geográfica de la cadena	12
2.5. Las vulnerabilidades de la cadena: crisis y alerta	14
3. México en la CGV de Semiconductores	16
3.1. Un mapeo del sector de los semiconductores en México	17
3.2. Determinantes de competitividad de la cadena en México	19
3.2.a. Talento	21
3.2.b. Innovación	24
3.2.c. Desarrollo de proveedores y atracción de IED	27
3.2.d. Disponibilidad de servicios e infraestructura	28
3.2.e. Incentivos de gobierno	30
3.2.f. Facilidad de comercio y tramitología	32
Recomendaciones de Política y Conclusiones	35
Bibliografía	38
Apéndice 1. México y el comercio internacional de semiconductores	41
Apéndice 2. Fichas de las empresas de semiconductores entrevistadas	45

Índice de Figuras

Figura 1. Ventas de semiconductores por segmento (2020)	5
Figura 2. Estándares de fabricación de la industria (tamaño en nanómetros de los nodos de procesamiento)	7
Figura 3. Capacidad instalada de producción, según nodo tecnológico y tipo de semiconductor (2019)	8
Figura 4. Composición de las ventas de semiconductores según tecnología y mercado destino (2019)	9
Figura 5. La cadena de valor de los semiconductores	10
Figura 6. Modelos de negocio según actividades de especialización	12
Figura 7. Especialización geográfica de la cadena, según valor agregado (2019)	13
Figura 8. Principales entidades de la CGV de los semiconductores en México, según actividad	18
Figura 9. Proporción de graduados en ingeniería sobre total de graduados de carreras terciarias y universitarias (izquierda) y graduados cada mil habitantes (derecha), países seleccionados (2019)	22
Figura 10. Gasto en I+D como porcentaje del PIB, países seleccionados (2019)	27
Figura 11. Principales orígenes y destino del comercio de semiconductores para México (2020-2021)	44

Índice de Tablas

Tabla 1. Regiones con demanda insatisfecha de ingenierías	23
Tabla 2. Acceso a la Energía - <i>Doing Business</i> (2020)	29
Tabla 3. Calidad de infraestructura (1 a 7) - <i>Global Competitiveness Index</i> (2019)	30
Tabla 4. Resumen de las respuestas de política anunciadas ante la crisis de abastecimiento	31
Tabla 5. Facilidad de comercio (1 a 100) - <i>Doing Business</i> (2020)	33
Tabla 6. Resumen de dimensiones de análisis y recomendaciones de política	37
Tabla 7. Clasificación de fracciones arancelarias (HS 2007) para la cadena de semiconductores	42
Tabla 8. México: Exportaciones e Importaciones por segmento de la cadena de semiconductores (2018-2021)	43
Tabla 9. Listado de entrevistados y su ubicación en la cadena de semiconductores en México	49



1. Introducción

Los semiconductores, chips, o circuitos integrados, son insumos clave para la producción del más amplio y variado espectro de actividades sociales y productivas.

Estos productos llegan a los consumidores luego de un complejo proceso de producción que involucra miles de etapas dispersas en distintos puntos del hemisferio norte del planeta.

Desde la pandemia, estos productos han ganado un protagonismo impensado, en un contexto en que la economía global enfrenta una crisis de abastecimiento de semiconductores impulsada por un quiebre estructural hacia una mayor demanda de productos digitales (computadores, teléfonos móviles, etc.) y por interrupciones en la producción causados por la pandemia. Estos acontecimientos han profundizado la vulnerabilidad de la cadena, que ya venía presentando problemas desde antes de la pandemia, y levantado alertas sobre la necesidad de dotarla de mayor resiliencia.

Dado que se espera que las nuevas condiciones de la demanda se mantengan en el tiempo, las empresas líderes del sector han respondido con ambiciosos programas de inversiones para expandir la capacidad de producción, los que vienen siendo acompañados por fuertes paquetes de estímulos de los gobiernos. Tal es el caso de China, Estados Unidos, la Unión Europea, India, Corea del Sur y Japón, entre otros países.

La fuerte intervención pública, incluso en países no intervencionistas como Estados Unidos, responde no tanto a factores tecnológicos y económicos sino más bien de carácter geopolítico, donde muchos países declaran perseguir un objetivo de autoabastecimiento de semiconductores, aun cuando ello es técnicamente imposible.

El nuevo escenario global en que se avizora un cambio en la geografía de la cadena global de valor (CGV) de semiconductores en los próximos años, donde Estados Unidos ganará mayor peso, abre la pregunta sobre cuáles son las oportunidades y desafíos que se plantean para México, que, si bien tiene una participación marginal en la cadena de semiconductores, cuenta con capacidades para aumentarla.

El objetivo central de este trabajo será justamente analizar cómo México podría aumentar su participación en la CGV de semiconductores ante el cambiante entorno global. Para ello, en primer lugar, se describen las principales características de la CGV de semiconductores, cómo es el proceso productivo, cómo son los modelos de negocio vigentes y cómo es la distribución geográfica de la producción, a fines de brindar un marco que contribuya

a entender el efecto de la crisis de abastecimiento actual sobre funcionamiento de la CGV y sus perspectivas futuras, en virtud de los anuncios de inversiones recientes.

Esa descripción de las perspectivas de la cadena puede ser relevante para identificar espacios de oportunidades para México, sobre lo cual versa la segunda parte del documento, donde se caracteriza al sector de los semiconductores en ese país y se evalúan los principales determinantes para la competitividad del sector que podrían ser clave a la hora de atraer inversiones al país. Un insumo fundamental para el análisis fueron entrevistas que se realizaron a empresas y asociaciones vinculadas al sector en México, las que, complementadas con información de otras fuentes, sirvieron de base para muchos de los resultados de este trabajo.

De este modo, el presente estudio identifica un conjunto de dimensiones clave para desarrollar la CGV de semiconductores en México en donde la acción de la política pública puede ser determinante.

El trabajo se estructura en tres secciones además de la presente: la Sección 2 describe la CGV de semiconductores y la crisis de abastecimiento que la afecta; la Sección 3 se enfoca en el sector de semiconductores en México y, finalmente, en la Sección 4 se presentan las conclusiones y recomendaciones de política.

2. La Cadena de Valor de los Semiconductores

2.1. ¿Qué es un semiconductor? Definición y clasificación

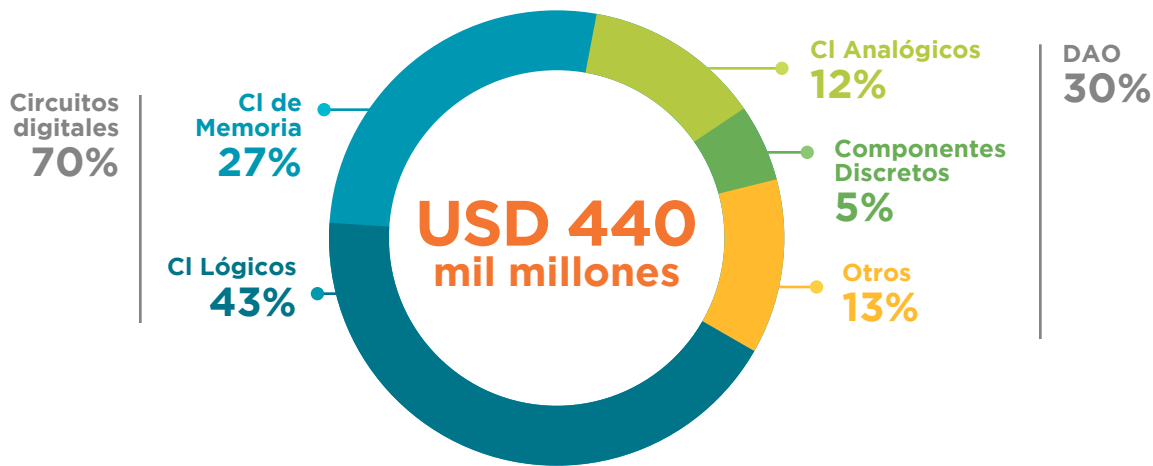
El término “semiconductor” en general hace referencia a un material con la capacidad de conducir y al mismo tiempo de aislar flujos de corriente eléctrica. En términos coloquiales, no obstante, el término refiere a los productos más avanzados que se construyen a partir de estos materiales y que, en general, son conocidos también como “chips” o “circuitos”.

Los semiconductores tienen un rol fundamental para el desempeño de casi todas las actividades productivas y de la vida diaria; por ello la cadena global de valor (CGV) del sector puede considerarse como la “columna vertebral” de la economía moderna (Varas *et al.*, 2021).

Los circuitos son los responsables de que podamos escribir estas líneas en un ordenador, o leerlas en un celular, pero también están presentes en nuestra lavadora, nuestro microondas, nuestro coche, o el avión en el que iremos de vacaciones; por tanto, resulta difícil pensar un día común de la vida actual de cualquier persona sin la presencia de semiconductores.

Existen varias formas de clasificar a los semiconductores; en la Figura 1 se muestra la distribución de las ventas en 2020, de USD 440 mil millones, agrupando a los dispositivos en tres categorías (Varas *et al.*, 2021): los dispositivos lógicos (procesadores), los dispositivos de memoria, y una tercera categoría agrupadora de los dispositivos discretos, los circuitos analógicos y otros (que llamamos DAO).

Figura 1. Ventas de semiconductores por segmento (2020)



Fuente: Elaboración propia en base a WSTS (2021), siguiendo la clasificación de Varas *et al.* (2021)

Los dispositivos de memoria y lógicos son circuitos integrados digitales; sus ventas conjuntas representaron un 70% del total global en 2020. En términos de una computadora personal, por poner un ejemplo, los dispositivos de memoria responden a las memorias DRAM, encargadas del almacenamiento de corto plazo del ordenador; por su parte, los dispositivos lógicos son los procesadores y memorias de largo plazo, como por ejemplo las unidades centrales de procesamiento (CPU) o las unidades de procesamiento gráfico (GPU).

El segmento de los circuitos digitales es el de mayor relevancia en materia de valor agregado, así como en cuanto a las inversiones que proyecta la industria. Más adelante se verá que la producción de estos circuitos implica un proceso extremadamente complejo a nivel microscópico, lo cual demanda grandes inversiones y tiempo (solo el proceso de producción demanda al menos tres meses). Dadas estas características, se trata de mercados fuertemente concentrados.

Los DAO, por su parte, incluyen a los circuitos integrados analógicos, así como otros encargados de la interacción con el mundo físico, como por ejemplo antenas, amplificadores y receptores de onda. En el caso de los DAO, la vanguardia tecnológica no es lo central (como sí lo es en el caso de los circuitos integrados digitales), sino el “conocimiento de campo” de los clientes a los que sirven. Puesto de otra forma, los circuitos analógicos son diseñados para tareas específicas en mercados específicos: es bien distinto el know-how necesario para la producción de un chip que conduzca un motor eléctrico del requerido para un semiconductor que permite captar ondas de radio.

Por sus características, el mercado de los DAO es muchísimo menos concentrado que el de circuitos digitales, y sus ventas globales explicaron algo menos de un tercio del total en 2020.

2.2. El avance tecnológico en la cadena de los semiconductores

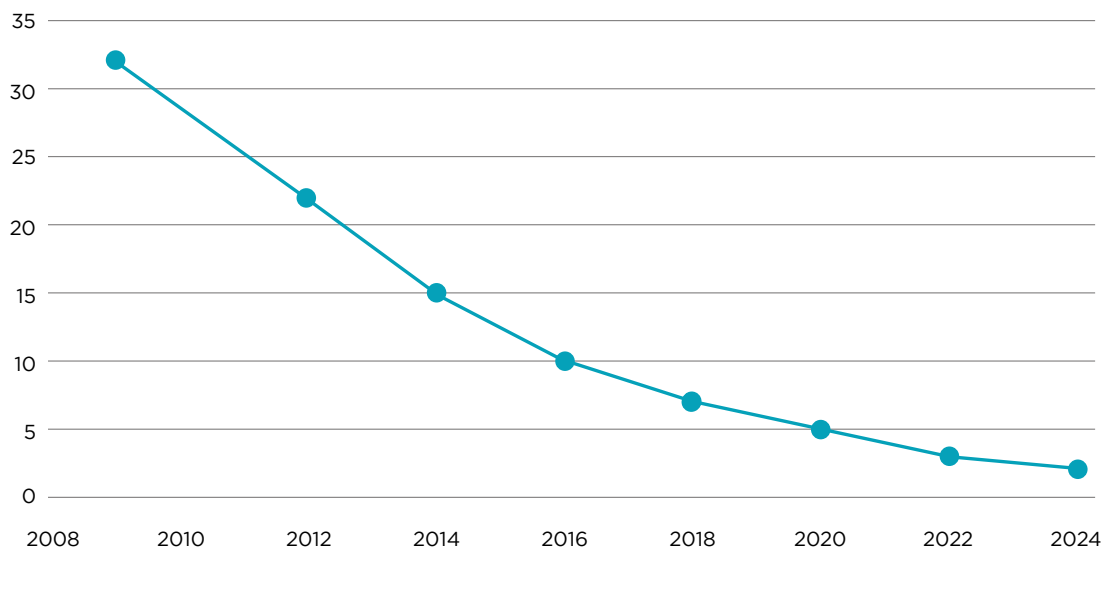
La industria de los semiconductores tiene su origen a mediados del siglo pasado, con la invención del transistor. No obstante, el gran salto se da en los sesenta, con la llegada de los circuitos integrados. Los circuitos integrados (CI) permitieron una mayor eficiencia energética, al integrar varios componentes discretos sobre una misma base semiconductor, lo cual implicaba también ganancias en cuanto al espacio físico que ocupaban. Desde entonces, el desafío ha sido el de contener cada vez más componentes en superficies cada vez más pequeñas, procurando una mayor eficiencia y velocidad de respuesta.

De lo anterior se desprende que, mientras más pequeño sea el circuito integrado, más avanzado será (y, también, más compleja y costosa su fabricación). Esta complejidad se mide, precisamente, de acuerdo al tamaño de la puerta de entrada de los transistores del circuito, medida en nanómetros (una milésima parte de un metro). Esto es definido como el “estándar de fabricación” o “nodo tecnológico”.¹

En la industria de los semiconductores, existe una ley empírica postulada por Gordon Moore, cofundador de Intel, en 1965. La llamada Ley de Moore señala que la cantidad de transistores en un microprocesador estándar se duplicaría cada aproximadamente dos años. Esta regularidad empírica se ha ido cumpliendo rigurosamente hasta la actualidad, donde el estándar se encuentra en los 3 nm (Figura 2), alcanzado solo por la taiwanesa TSMC, pero que aún no se encuentra en producción comercial. Sin embargo, en este punto, la Ley ha encontrado una barrera física, ya que en el mejor de los casos comenzará una tendencia asintótica hacia el cero, a pesar de que estamos hablando de dimensiones que ya son microscópicas (para poner una referencia, un cabello humano tiene un grosor de 60 mil nm). De esta manera, puede decirse que nos encontramos ante el fin de la Ley de Moore y enfrentando un cambio de paradigma de cara al avance de la frontera tecnológica del sector.

¹ En rigor, esto dejó de ser así y actualmente los nodos de proceso son una mera referencia (no una medición exacta) del grado de sofisticación de la producción de las empresas.

**Figura 2. Estándares de fabricación de la industria
(tamaño en nanómetros de los nodos de procesamiento)**



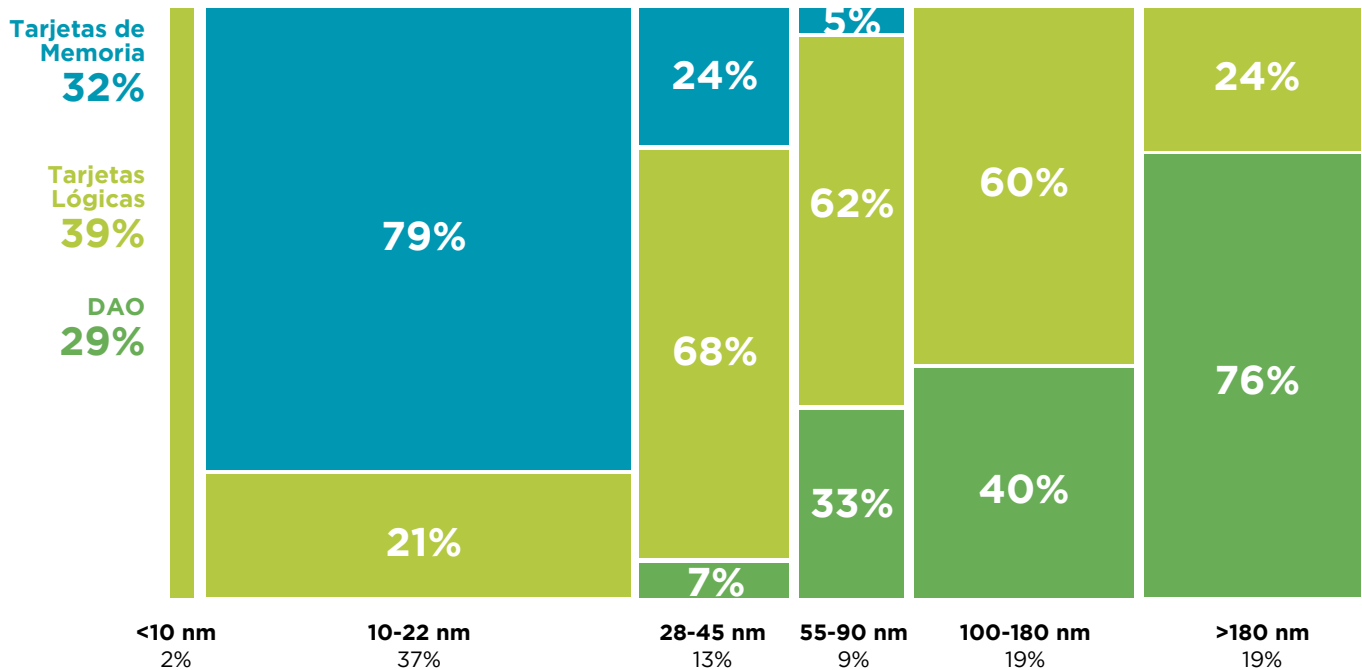
Fuente: Elaboración propia en base a Calhoun (2021)

El avance del estándar de la industria no implica la obsolescencia de los circuitos de mayor tamaño; por el contrario, las tecnologías previas se encuentran consolidadas y son ampliamente utilizadas por los diversos verticales de electrónica a los que abastece la CGV.

Para entender lo anterior, vale retomar la clasificación de los semiconductores presentada en el apartado previo. La Figura 3 presenta la distribución de la capacidad instalada de producción de semiconductores, según nodo tecnológico y tipo de semiconductor; se observa que solo el 2% de la capacidad instalada en 2019 se destina a chips de menos de 10 nm y que esta capacidad se destina exclusivamente a los dispositivos lógicos (procesadores).² Por su parte, el 37% de la capacidad instalada se destina a circuitos digitales (esto es, memoria y lógicos) de entre 10 y 22 nm, en tanto que, para los nodos mayores, el segmento DAO va ganando terreno significativamente. En efecto, la capacidad de producción de semiconductores en nodos de al menos 55 nm, la cual representa casi la mitad de la capacidad total de la industria, se distribuye casi exclusivamente entre DAO y dispositivos de memoria. Como se dijo en el apartado previo, en el caso de los circuitos digitales (lógicos y de memoria), estar en la frontera tecnológica es particularmente relevante, pero no lo es tanto para el segmento DAO, donde las aplicaciones suelen ser específicas de acuerdo al mercado de abastecimiento.

² Como se verá más adelante, los anuncios de inversión realizados para la próxima década estarían enfocados en expandir la capacidad de producción de los semiconductores más avanzados, por lo que ese 2% de capacidad para productos de menos de 10 nm tendería a crecer en la medida que se ejecuten tales proyectos.

Figura 3. Capacidad instalada de producción, según nodo tecnológico y tipo de semiconductor (2019)

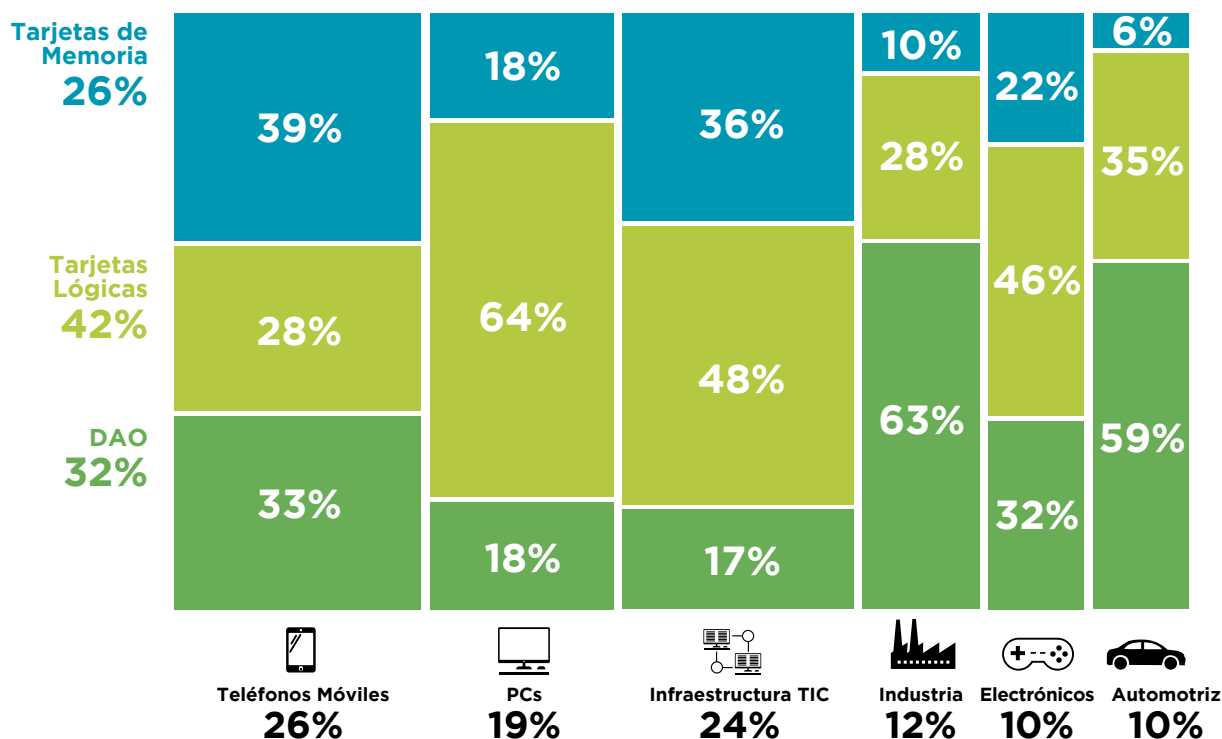


Fuente: Elaboración propia en base a Varas, *et al.* (2021)

En la Figura 4 muestra la composición de las ventas según tecnología y vertical. La primera conclusión que se desprende de esta figura es que los tres segmentos de semiconductores son demandados, en mayor o menor medida, por todas las verticales a la que abastece la cadena. También se advierte que la industria y las automotrices demandan principalmente el segmento DAO, pero representan solo el 32% de las ventas de la CGV. Fuentes de la industria han señalado que, por ejemplo, el sector automotriz históricamente ha presentado cierta rigidez en cuanto a los nodos tecnológicos que demanda, organizando sus procesos en torno a una determinada tecnología.

Por su parte, la telefonía celular, las computadoras y la infraestructura TIC significan más de dos terceras partes de la demanda de semiconductores y tienen una demanda sesgada hacia los circuitos digitales en la frontera tecnológica; estos sectores son los primeros demandantes de los nuevos estándares de la industria. Estos segmentos, no obstante, demandan también DAO, puesto que aquí se incluyen los receptores de onda necesarios para hacer llamadas, captar ondas de radio, etc.

Figura 4. Composición de las ventas de semiconductores según tecnología y mercado destino (2019)



Nota: DAO se refiere a "Discretas, analógicas y otros"
 Fuente: Elaboración propia en base a Varas, et al. (2021)

2.3. Mapeo de la Cadena y modelos de negocio asociados

Hasta aquí hemos definido lo que entenderemos por dispositivos semiconductores en este estudio y los clasificamos de acuerdo a sus principales funciones. Vimos también que puede haber diferentes niveles de avance tecnológico para cada tipo de semiconductor, lo cual se ajusta a las demandas particulares de cada una de las verticales a las que abastece la cadena. En este apartado se describen los eslabones y sectores proveedores de la CGV, para luego entender cuáles son los modelos y estrategias de negocio de las empresas de semiconductores.

2.3.a. Estructura de la cadena de valor de los semiconductores

La cadena de valor de los semiconductores tiene tres eslabones centrales: el de Diseño, el de Fabricación y el de Ensamblado y Testeo (Figura 5).

Figura 5. La cadena de valor de los semiconductores

Fuente: Elaboración propia en base a Varas, *et al.* (2021), Kleinhans y Baisakova (2020) y otras fuentes

En el eslabón de Diseño es donde, precisamente, se diseñan los circuitos que luego serán impresos en material semiconductor. Se trata de un sector muy intensivo en conocimiento, que realiza más de la mitad del gasto en investigación y desarrollo (I+D) total de la CGV (Varas, *et al.*, 2021). Este eslabón es abastecido por los sectores de *Software* o *Electronic Design Automation* (EDA) y Propiedad Intelectual (IP), que básicamente contribuyen a agilizar el proceso de diseño. Esto es necesario, debido a la complejidad que implica diseñar circuitos de frontera.

Una vez concluido, el diseño final del circuito es enviado al eslabón de fabricación, también conocido como “*frontend*”. Sobre todo, para los circuitos de alta complejidad, se requiere de una gran coordinación entre ambos eslabones, para asegurarse de que el diseño (a escala microscópica) pueda ser fabricado en tiempos y a costos razonables, dado el equipamiento de las fábricas. En este sentido, vale mencionar que, si bien un equipo para producir un chip de frontera puede ser utilizado para producir circuitos menos avanzados, lo contrario no es algo posible. De esta manera, las inversiones en maquinaria suelen servir hasta cinco años para la producción de frontera, hasta que aparezca un nuevo estándar en la industria.

Naturalmente, estas instalaciones son altamente costosas. Una fábrica estándar con una tecnología avanzada puede costar entre USD 5 mil millones (circuitos analógicos) y USD 20 mil millones (circuitos digitales de memoria), incluyendo el valor de la tierra, el edificio y el equipamiento (Varas *et al.*, 2021). El costo de capital de las fábricas (que incluye el costo anualizado de los edificios, el terreno y el equipamiento de producción) ronda el 30-40% de sus ingresos anuales, absorbiendo el 64% del gasto total en capital de la CGV (Varas *et al.*, 2021).

El proceso de fabricación inicia con discos “crudos” de material semiconductor (en general, silicio), llamados “*wafers*” u obleas, sobre los cuales se imprime, mediante litografía, el diseño del circuito entre cien y cientos de miles de veces. Luego, el disco es cortado en “dados”, que son los chips individuales que son el producto de este eslabón. Este proceso demora entre tres y cinco meses, y conlleva entre 400 y 1400 pasos, dependiendo de la complejidad del circuito.

Los dados de chips llegan al eslabón final, conocido como “*backend*”, Aquí es donde los chips son testeados masivamente, y empacados para ser finalmente entregados a las verticales tecnológicas a las que abastece la cadena. En general, esta etapa es la más trabajo-intensiva de la CGV. No obstante, la inversión física necesaria en instalaciones, equipamiento y materiales está en el orden del 15% de los ingresos anuales del eslabón (Varas *et al.*, 2021).

Finalmente, todos los eslabones de la cadena se relacionan con lo que se conoce como el segmento de investigación precompetitiva. Estas investigaciones suelen culminar en publicaciones auditables y la mayor parte de las veces tienen lugar *fuera* de las empresas, en espacios como centros de investigación y universidades (públicos y privados). Son de orden más bien estructural, de manera que puede llevar no menos de 10 años para que los descubrimientos lleguen a fase de producción comercial. Varas *et al.* (2021) señalan que la inversión en I+D de este segmento puede significar entre un 15 y un 20% del gasto total en I+D de la cadena a nivel global.

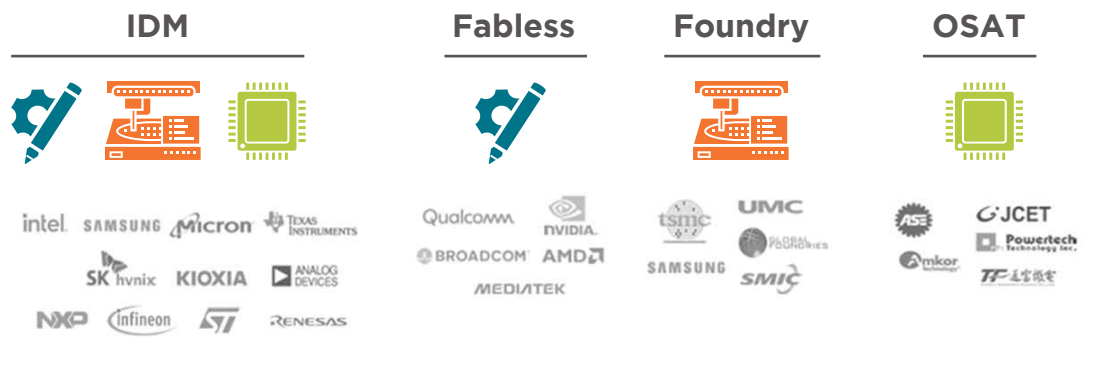
2.3.b. Modelos de negocio

Hacia los años sesenta, la mayoría de las grandes empresas productoras de semiconductoras tenían una estrategia de producción integrada (*IDMs*, *Integrated Device Manufacturers*); esto es, abarcaban los tres eslabones descritos en el apartado previo. El crecimiento de la complejidad tecnológica del proceso hizo que la cadena avance de un modelo casi completamente integrado a uno de especialización en el presente. Ante esto, las firmas integradas pasaron a adoptar un modelo híbrido por el cual delegan parte de su proceso productivo a empresas especializadas.

Dependiendo de en qué eslabón se especialicen las firmas, se tendrá su modelo de negocio (Figura 6):

- **Fabless**, son empresas especializadas en el eslabón de diseño, que delegan la producción física a las *Foundries*. Se trata de un modelo conocimiento-intensivo, con alta inversión en I+D.
- **Foundry**, son empresas especializadas en la etapa de fabricación (*frontend*). Es, por tanto, un modelo caracterizado por los altos niveles de inversiones en capital físico y equipamiento (capital-intensivo).
- **OSAT** (*outsourced semiconductor assembly and test*), son empresas especializadas en la etapa de ensamblaje y testeo (*backend*). Por ser trabajo-intensivas, requieren de un nivel de inversión significativamente menor, a pesar de que en tiempos recientes se ha aumentado la participación de los costos de capital en ventas.

Figura 6. Modelos de negocio según actividades de especialización



Nota: Las empresas listadas cumplen un rol ilustrativo, no de listado exhaustivo.
Fuente: Elaboración propia en base a Kleinhans y Baisakova (2020)

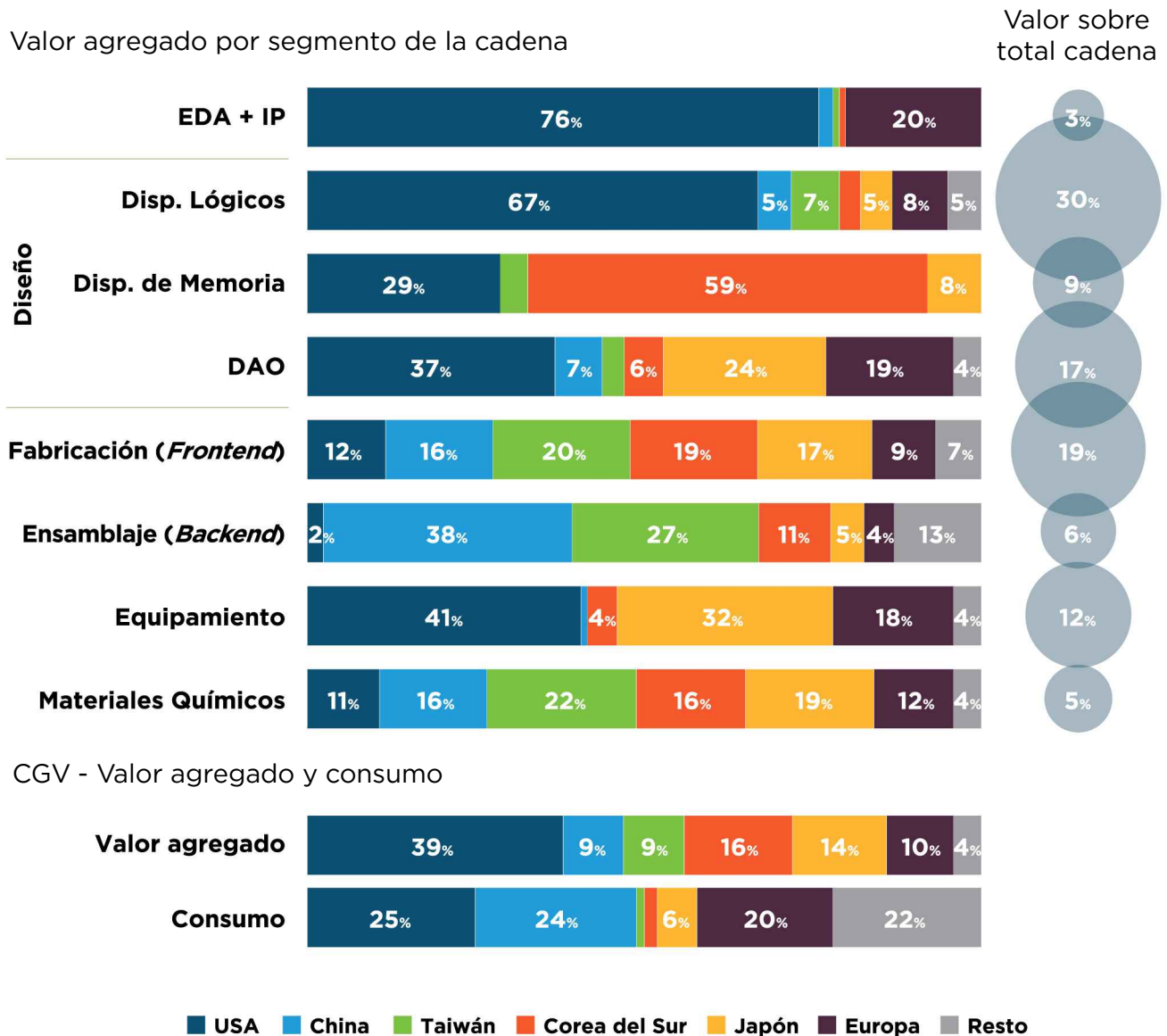
2.4. La especialización geográfica de la cadena

La especialización de la cadena en eslabones y tareas específicas fue definiendo una especialización geográfica de la CGV, de acuerdo a las ventajas comparativas de los territorios; esta estrategia es seguida tanto por las firmas especializadas como las IDM.

En la Figura 7 se muestra la distribución geográfica del valor agregado en los distintos eslabones de la cadena. Allí es fácil ver que, si bien se trata de una cadena altamente globalizada, son en realidad unos pocos países los que dominan las actividades de la misma.

Así, vemos que Estados Unidos es particularmente fuerte en el eslabón de Diseño y sus proveedores, EDA + IP. También es el principal productor de equipamiento para la producción, lo cual es decisivo para la ejecución de los diseños de los circuitos más avanzados.

Figura 7. Especialización geográfica de la cadena, según valor agregado (2019)



Fuente: Elaboración propia en base a Varas, *et al.* (2021)

El eslabón de fabricación (*frontend*) es el actual campo de disputa en el anuncio de inversiones para la próxima década. Este eslabón, que en los noventa era dominado por los Estados Unidos y Europa, hoy se encuentra bastante más distribuido, pero focalizado principalmente en países asiáticos. Los gigantes occidentales tienen participaciones en torno al 10%, mientras que Taiwán, Corea del Sur, Japón y China producen más de las dos terceras parte del valor agregado global de *frontend*.

El eslabón de backend, por su parte, se encuentra también focalizado en Asia, pero sobre todo en China y Taiwán.

2.5. Las vulnerabilidades de la cadena: crisis y alerta

Si bien los distintos eslabones de la CGV concentran sus actividades en relativamente pocos países del mundo, se trata de una cadena extremadamente globalizada; ningún país tiene el potencial de contener a todas las actividades de la cadena en su territorio.

Lo anterior hace que la CGV se encuentre expuesta a eventos furtivos que puedan afectarla. En efecto, como se observa en la Figura 8, las crisis en la cadena han sido recurrentes, y recientemente el sector ha pasado por una de sus crisis más duraderas, producto de la combinación de varios factores, entre los que se cuentan las tensiones entre Estados Unidos y China, la pandemia a causa del Covid-19 y factores climáticos adversos que complicaron la producción en Japón (Richard, *et al.*, 2021).

La pandemia del Covid-19 trajo una parálisis casi total de actividades durante buena parte de 2020. La respuesta tuvo que ver con una aceleración del proceso de digitalización de las empresas, los gobiernos y los hogares, lo cual implicó una aceleración de la demanda de productos electrónicos y, por tanto, de semiconductores. Del lado de la oferta, la velocidad de respuesta no pudo hacer frente a este crecimiento en la demanda: el cuello de botella se dio en el eslabón de *frontend*.

Las empresas del sector reaccionaron aumentando el uso de su capacidad instalada y consumiendo inventarios donde era posible, pero aun así varias verticales sintieron la falta de semiconductores. Esto se dio en parte no solo por la escasez, sino también por reasignación de la producción, situación en la cual se dieron tanto factores por el lado de la oferta como de la demanda.

Lo anterior fue particularmente claro en el sector automotriz, un sector que inicialmente esperó una fuerte caída en la demanda de sus productos, ante lo cual decidió suspender sus órdenes de semiconductores. Cuando el pronóstico resultó no cumplirse, las automotrices encontraron que los semiconductores que iban a ser insumidos por ellas habían sido redirigidos hacia otros sectores IT de demanda en auge. Así, según consultas a expertos

realizadas, las automotrices y otras industrias en su situación debieron acudir a mercados de subastas para adquirir chips hasta diez veces más caros que en situaciones normales, y sin tener completa certeza de su procedencia.

De cara al mediano plazo, la respuesta del sector tuvo que ver con más inversiones para expandir la capacidad productiva de la industria. El gasto en capital de la CGV pasó de USD 113 mil millones en 2020 a más de USD 150 mil millones, el valor más alto del que se tenga registro. También inédita en la historia de la cadena fue la respuesta de los gobiernos: todos los países relevantes anunciaron enormes paquetes de estímulo fiscal para lograr atraer las inversiones en *frontend* que les permita ganar liderazgo en la próxima década. Con esto, las decisiones de inversión no solamente se basan en factores de carácter tecnológico y económico, sino también geopolítico.

Si bien según fuentes consultadas el desabastecimiento se ha sentido mayormente en chips de nodos tecnológicos “grandes” en el segmento DAO, de menores requerimientos de inversión, las nuevas inversiones están dirigidas hacia las tecnologías más recientes, más costosas, en la búsqueda del liderazgo tecnológico. De esta manera, se desprende que la respuesta mediata no ha buscado resolver los efectos de un desabastecimiento, sino más bien satisfacer la creciente demanda de aplicaciones que hacen un uso intensivo de los semiconductores más avanzados tecnológicamente. El *shortage* ha servido más bien como advertencia de la relevancia del sector de los semiconductores, y empresas y gobiernos quieren recuperar posiciones en la carrera por el liderazgo tecnológico global.

Esta respuesta en inversiones puede, no obstante, contribuir a la resolución del desabastecimiento en nodos mayores mediante la “liberación de espacio” en fábricas ya instaladas. Por lo demás, y según se pudo saber en entrevistas, los mecanismos de mercado han empezado a hacer su ajuste vía precios.

3. México en la CGV de Semiconductores

La actual crisis de abastecimiento de semiconductores reflejó vulnerabilidades en una cadena muy globalizada y dispersa geográficamente. Con la respuesta de las empresas y los gobiernos de los países para expandir sus capacidades de fabricación, el modelo tradicional de asignación de recursos basado en ventajas comparativas podría mutar gradualmente hacia uno con mayor consideración de la resiliencia, lo cual podría generar cambios en la estructura de la CGV en la próxima década.

¿Cuáles son las oportunidades que la situación actual y las perspectivas futuras de demanda plantean para países como México? Aunque marginal, México tiene participación en la cadena de semiconductores, una industria electrónica potente, y una posición estratégica favorable dada su integración con Estados Unidos. Para una cadena en la cual el “ecosistema” resulta tan importante, estos aspectos son de suma relevancia.

Los datos de comercio exterior sugieren que México es un importador neto de semiconductores. En efecto, mientras que en 2021 las exportaciones mexicanas de la cadena de semiconductores ascendieron a USD 9.024 millones, las importaciones fueron de USD 35.385 millones, resultando un déficit de USD 26 mil millones (ver Apéndice 1 para mayores detalles).

Actualmente los países centrales están anunciando feroces paquetes fiscales de estímulo a la inversión de frontera, tanto en I+D como en capital físico, para producir la siguiente generación de semiconductores. México, que no cuenta con producción *frontend* en su territorio, difícilmente pueda competir activamente en una batalla “tecnológica” en la cual tanto China como Estados Unidos quieren liderar la cadena en la próxima década, y jugadores importantes, como la UE, India, Corea del Sur y Japón, también quieren ganar terreno.

Lo que sí puede hacer México es reforzar los mecanismos de coordinación estratégica con Estados Unidos, dado que la mayor capacidad de producción *frontend* en ese país puede abrir oportunidades de proveeduría de bienes y servicios conexos.

En este contexto, México también puede apuntar a desarrollar eslabones de la cadena donde ya tiene alguna presencia, como el diseño y *backend*.

Finalmente, también se debería considerar la posibilidad de diseñar esquemas de incentivos para desarrollar segmentos de fabricación de menor sofisticación tecnológica, como *fabs*

lite y fabs legacy,³ donde hay una demanda sostenida por un sector automotriz y electrónico competitivos. Ante esto, será necesario evaluar si es posible ganar terreno en las tecnologías DAO, que pueden ser una puerta de entrada a la cadena con una mirada de largo plazo.

La subsección a continuación presenta una caracterización del sector de los semiconductores en México, mientras que la siguiente ahonda en los determinantes de la competitividad relevantes para la atracción de inversiones de la CGV de semiconductores en México. Buena parte del análisis se basa en entrevistas a 17 actores del sector (empresas y cámaras empresariales) durante los meses de febrero y marzo de 2022; dichas entrevistas fueron llevadas a cabo por un equipo de investigadores del BID con el apoyo logístico y técnico de las Secretarías de Economía y Hacienda del Gobierno de México. En el Apéndice 2 se presenta el listado de los entes entrevistados, la descripción general de sus actividades y su ubicación en la cadena de valor de los semiconductores.

3.1. Un mapeo del sector de los semiconductores en México

La industria de la electrónica llega a México en los años sesenta, particularmente en los estados del norte, con el lanzamiento de la política de fomento a la industria maquiladora de exportación (IME). El crecimiento de la electrónica desde entonces ha sido tal que México es actualmente el octavo productor de electrónica a nivel mundial (Rojas, A., 2021).

Más fuerte aún ha sido el desarrollo del sector automotriz; México es el cuarto exportador mundial de automóviles. La potencia de la industria automotriz mexicana llevó a un sólido desarrollo de proveedores que abastece no solo al país, sino también a parte de la industria latinoamericana (Filippo y Guaipatín, 2021). Semejante escala trae aparejada una fuerte demanda de electrónica y, por consiguiente, de semiconductores.

Vale también mencionar la presencia de la industria aeroespacial, que tiene cinco clústeres en el país, localizados en Sonora, Baja California, Chihuahua, Nuevo León y Querétaro (Tetawaki, 2021). Se trata de un sector muy intensivo en conocimiento que no solo demanda semiconductores, sino que también da muestras de la calidad del capital humano que es capaz de producir el país.

Con todos estos antecedentes, el país tiene un ecosistema próspero para la cadena de semiconductores, no solo en cuanto a empresas, sino a centros de formación de capital

³ Las tecnologías *legacy*, barcan semiconductores de nodos grandes, en general alejados de la frontera tecnológica. Dado que las inversiones de la industria tienden a moverse hacia las tecnologías más avanzadas, ha empezado a prosperar el modelo *fab lite*, que se caracteriza por dar soluciones eficientes de producción de este tipo de semiconductores (menos avanzados) a demandantes de estos productos que no están involucrados activamente en la cadena. Por ejemplo, una automotriz podría montar una *fab lite* para garantizar un flujo más estable de cierto tipo de semiconductores de relevancia para su producción de automóviles. Ver más en <https://www.chetanpatil.in/the-fab-lite-semiconductor-fabrication-model/>

humano en torno a las capacidades requeridas por la industria. En este sentido, y solo por poner un ejemplo no exhaustivo, clústeres como el de Guadalajara (reconocido como el “Silicon Valley” local) o Querétaro nuclea actividades de desarrollo de productos electrónicos: empresas de la talla de *Continental*, *Vitesco*, *Hella*, *Bosch*, *Oracle*, *Visteon* y *Harman*, entre otras, tienen centros donde la mayor parte del personal en sus plantas tiene grado de ingeniero.

La lista desde luego no acaba aquí; en la parte noroeste del país, Tijuana alberga a más de 120 empresas que fabrican una gama de componentes eléctricos para las industrias de telecomunicaciones, aeroespacial y automotriz. Hacia el corredor central de México, hay un mayor enfoque en los componentes de alta tecnología, así como en los subensamblajes electrónicos y de TI. En el noreste, por su parte, se destaca la fabricación de computadoras, electrodomésticos y productos electrónicos de consumo (Tetawaki, 2021).

Con todo, México no ha conseguido atraer fuertemente a empresas de la cadena de valor de los semiconductores. En rigor, sólo cuatro empresas realizan actividades de la CGV de semiconductores en territorio mexicano (Figura 8). Así, en el eslabón de Diseño está el Centro de *Intel* en Guadalajara, mientras que en actividades de *backend* se cuenta con las instalaciones de Skyworks en Mexicali, las de *Texas Instruments* en Aguascalientes y la de *Infineon* (la principal proveedora de semiconductores para el sector automotriz) en Tijuana.

A su vez, existen organismos públicos, como el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), el cual posee gran prestigio en la industria y, además de desarrollar actividades de investigación precompetitiva, brinda servicios de EDA a empresas centrales de la industria, como *IBM*, *Motorola*, *Intel* y *Global Foundries*.

Figura 8. Principales entidades de la CGV de los semiconductores en México, según actividad



Fuente: Elaboración propia en base a consultas con fuentes especializadas del sector de semiconductores.

En cuanto al eslabón de “*frontend*”, México no cuenta hoy con instalaciones de producción de semiconductores. No obstante, vale destacar que hace décadas este eslabón estuvo presente en Guadalajara, de la mano de *Motorola*. Esta fue una de las empresas que se radicó en México bajo el esquema de maquilas en la década del sesenta, y tenía en Guadalajara una división de producción de semiconductores discretos. En el año 1999 esa división de *Motorola* se constituye como *ON Semiconductor* (actualmente *Onsemi*), una *IDM* enfocada en el segmento de semiconductores discretos para diversos fines, que finalmente decidió retirar sus operaciones de México para relocalizarse en Asia. A su vez, la parte restante del negocio de *Motorola* en México se convirtió en *Freescale Semiconductor* hacia el año 2004, otro *spinoff* que operó como *IDM*, pero en una gama más amplia de semiconductores. En línea con la creciente concentración de mercado en la cadena, esta empresa fue adquirida por *NXP* en 2015. Actualmente, *NXP* sostiene operaciones en Guadalajara, pero más enfocadas a brindar soporte a los clientes del sector automotriz a los cuales abastece la empresa a nivel global.

Los entrevistados para este estudio coinciden en que México no cuenta hoy con las capacidades para albergar producción (*frontend*) de semiconductores en su territorio. Esto es tanto porque el ecosistema resulta débil para los estándares de la CGV como porque tampoco es viable hacer frente a los incentivos fiscales de países centrales. Por ello, antes de pensar en tener producción de frontera, México debe ganar masa crítica y lograr un fuerte compromiso de gobierno con el desarrollo de la industria, tal como lo han hecho los gobiernos asiáticos, cuyo posicionamiento se logró con décadas de estabilidad y respaldo a la industria.

Tomando cuenta de esto es que las fuentes consultadas del sector tienden a coincidir en que la oportunidad de México puede estar en tecnologías menos complejas (sensores o algunos dispositivos analógicos de sofisticación media, tal como fue el caso de *ON Semiconductor*), así como en atraer inversiones por parte de los proveedores de la industria en materiales químicos y equipamiento, aspectos sobre los que se podría investigar a futuro. Los casos de *Intel* y el INAOE dan cuenta también de la capacidad para explorar alternativas en el eslabón de Diseño; nuevamente, aún si no se tratara de tecnologías de frontera, vale la pena pensar en dispositivos específicos para industrias fuertes en México, como la automotriz y la electrónica, que son demandantes intensivos de semiconductores.

3.2. Determinantes de competitividad de la cadena en México

Tal como se mencionó anteriormente, en el presente estudio se combinó el análisis de la CGV con entrevistas en profundidad realizadas a diversos referentes de la cadena en México y la región por parte del equipo del BID, con el apoyo de las Secretarías de Hacienda

y Economía del Gobierno de México. En estas entrevistas se identificaron seis grandes dimensiones de competitividad; a saber:

- ▶ Talento
- ▶ Innovación
- ▶ Desarrollo de proveedores
- ▶ Disponibilidad de servicios e infraestructura
- ▶ Incentivos de Gobierno
- ▶ Tramitología y facilitación de comercio

Cada una de estas dimensiones se abordan en detalle en las secciones siguientes. En líneas generales, hay concordancia entre los entrevistados en que ahora no es el momento para dar la batalla en la materia de producción de tecnologías de frontera; México no tiene las bases necesarias para desarrollar las actividades del eslabón de *frontend* en circuitos digitales, pero debe empezar a recorrer el camino para ganarlas.

En este sentido, no se parte de cero, sino que el país tiene fortalezas en las que apoyarse. Quizá la principal sea su disponibilidad de talento. El ecosistema de la electrónica en México se ha ido consolidando sobre la base de la cooperación entre las empresas y el sector académico, incluyendo tanto a universidades como centros de investigación. Abundan los ejemplos de co-diseño de carreras de ingeniería, así como de innovadores programas de captación de talento. A su vez, los polos productivos se caracterizan por ser lugares atractivos para los trabajadores y retenerlos.

De esta manera, si Estados Unidos consolida sus objetivos de fortalecer el eslabón de *frontend* en su territorio, México podría apostar a ser parte de ese proceso mediante la atracción de inversión extranjera para el desarrollo de proveedores en actividades accesorias a la cadena. La existencia de talento a costo competitivo en un huso horario alineado es un requisito de base para plantear esta posible sociedad.

Los acuerdos de libre comercio son otro menester en el cual México está bien posicionado en líneas generales. A su vez, el *nearshoring* se exalta como alternativa por el lado de los costos de transporte, que se vieron fuertemente afectados durante la pandemia. No obstante, también se percibe que el país podría ofrecer mejores servicios en lo referente a tramitología, que fue uno de los puntos desfavorables más señalados por los entrevistados.

Finalmente, prácticamente todas las fuentes consultadas coinciden en la relevancia no solo de los incentivos de los gobiernos, sino del compromiso explícito de los mismos para con el desarrollo de la cadena.

3.2.a. Talento

Para la cadena de semiconductores la disponibilidad de talento es un punto sumamente relevante. De alguna manera, un nudo crítico en esta cadena de valor tiene que ver con el talento calificado y con la competencia que la industria debe dar con otras vinculadas al crecimiento del sector del software y los servicios informáticos. La novedad por parte de estos segmentos (que venían creciendo fuertemente y se potenciaron a raíz de la pandemia) es que ofrecen la posibilidad de crecimiento mucho más rápido que el que la cadena de semiconductores es capaz de ofrecer (Accenture, 2022). A su vez, los conocimientos en el segmento de semiconductores suelen ser bastante específicos, incluso a nivel intra-firma, lo cual implica que las empresas deben realizar grandes esfuerzos de capacitación y retención de talento (Mönch, *et al.* 2017).

Como reacción a esto, las empresas de la cadena suelen estar fuertemente comprometidas con la formación de talento en diversas etapas. Las representantes de la cadena en México no son la excepción: empresas como IBM e Intel tienen larga trayectoria co-creando programas con las universidades alineadas o solicitando a estos centros de estudios el dictado de programas de especialización para sus empleados. También es habitual el fomento a que los empleados altamente calificados se desempeñen como profesores en las universidades, lo cual funciona como una estrategia doble de “*hunting*” (los profesores pueden identificar el talento saliente de primera mano) y como vínculo entre academia y mundo productivo que sirve a los estudiantes para barajar opciones. Respecto de esto último, los programas de pasantías son también muy utilizados, y resultan en amplias externalidades positivas para la industria, ya que, según las fuentes entrevistadas, el ratio de retención de estos pasantes no suele superar el 50%.

En vistas de los conocimientos específicos requeridos, estas estrategias suelen “internacionalizarse” en la medida de lograr también *knowledge sharing* entre las diversas localizaciones de las empresas en el mundo.

En síntesis, la estrategia global de las empresas podría describirse como una de minimización de rotación de personal, en que las empresas colaboran para que el ecosistema tenga una buena base de formación de talento; que una vez contratado se busca retener, fomentando la capacitación permanente y la posibilidad de crecimiento dentro de la empresa.

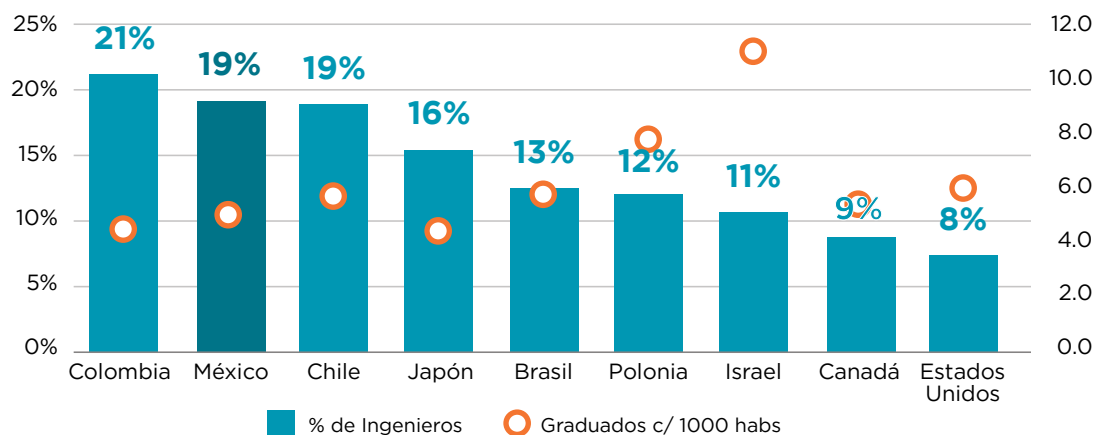
En México, de acuerdo con las entrevistas realizadas, estos programas se realizan actualmente sin apoyos estatales específicos (a pesar de que en el pasado hubo apoyo de organismos como el CONACYT). A primera vista, daría la impresión de que las empresas lograron dar

una solución privada al aspecto del abastecimiento de talento. No obstante, dadas las potenciales externalidades que se generan con los recursos capacitados, pero no retenidos, podrían ameritarse acciones de política para fomentar estas actividades, y coordinarlas de manera tal que se potencie su efecto agregado.

Más aún, dado que, como se verá en el apartado siguiente, México necesita incrementar sustancialmente sus esfuerzos de innovación, la disponibilidad de talento en cantidad y calidad es una condición de base para ello.

Desde una perspectiva más general, vale destacar que en México se gradúan cada año unas 650 mil personas, lo cual equivale a 5,1 graduados cada mil habitantes. Este número está en línea con los datos de otros países como Colombia, Chile, Canadá y Estados Unidos (Figura 9).⁴ De este total, unos 140 mil graduados mexicanos son ingenieros, y más de 100 mil se especializan en áreas vinculadas a la cadena (FIIDEM, 2018). Desde una comparación internacional, el país parece estar bien posicionado; en la Figura 9 se aprecia que tiene una proporción de ingenieros sobre total de egresados de carreras terciarias y universitarias del 19%, guarismo por encima del 14% promedio de los países de la OCDE.

Figura 9. Proporción de graduados en ingeniería sobre total de graduados de carreras terciarias y universitarias (izquierda) y graduados cada mil habitantes (derecha), países seleccionados (2019)



Fuente: Elaboración propia en base a OCDE.

⁴ Ahora bien, este indicador de flujo debe sopesarse con el de stock: Según datos de la OCDE, en México solo el 25% de la población entre 25 y 34 años cuenta con estudios universitarios, mientras que el promedio de la OCDE para ese grupo de edad es del 45%. Así, en orden de cerrar esa brecha, México debería aumentar su cantidad de graduados por habitante. Esto último en lo que refiere a cantidades. En cuanto a calidad, las encuestas a empleadores sugieren que muchos graduados no tienen las habilidades requeridas para sus trabajos y que uno de cada dos graduados trabaja en una ocupación no relacionada con su campo de estudio, lo que puede sugerir que algunos estudiantes de educación terciaria están completando estudios que no tienen la mayor demanda (OCDE, 2017).

Otro indicador de relevancia a considerar es el de la eficiencia terminal, medido como el ratio entre egresados e ingresantes. Según un estudio de FIIDEM (2018), para el ciclo 2012-2017 este indicador se encontraba en el orden del 53%-55% para las ingenierías en electrónica y automatización (3.681 egresos), en electromecánica (3.557 egresos), y TIC en general (5.868 egresos). En el caso de la ingeniería en mecatrónica, con casi tantos egresados como las otras tres sumadas (11.126), el guarismo sube al 81%, siendo el más alto de todas las ingenierías relevadas por el estudio. El ratio promedio para todas las ingenierías relevadas es del 51%.

A partir de datos de oferta de graduados y desocupados por región, en conjunto con información sobre posiciones abiertas por perfil, el estudio de FIIDEM (2018) encuentra que a nivel agregado en México existe un exceso de oferta de ingenieros. Sin embargo, al analizar la información desagregada por regiones el diagnóstico resulta diferente. En efecto, tal como se muestra en la Tabla 1, hay déficit de ingenieros tanto en electrónica y automatización como en TIC en las regiones de occidente y noroeste, que son precisamente aquellas donde están ubicadas las empresas vinculadas a la cadena de valor de los semiconductores en México.⁵

Tabla 1. Regiones con demanda insatisfecha de ingenierías

Ingeniería	Centro	Noreste	Noroeste	Occidente	Sureste	Sur Oriente
Eléctrica						
Electrónica						
Electrónica y automatización						
Energía						
Geología y geofísica						
Materiales						
Mecánica						
TICs						

Fuente: Elaboración propia a partir de FIIDEM (2018)

⁵ Los desencuentros en el mercado laboral son también un aspecto que se extiende a la generalidad de la economía mexicana. Según OCDE (2017), las habilidades de los trabajadores mexicanos no se utilizan efectivamente: el 26% están sobrecalificados y el 31% subcalificados para las tareas que realizan. Adicionalmente, el 40% de los empleados con estudios universitarios se desenvuelve en actividades no relacionados a su campo de estudios.

Dado lo expuesto, podría inferirse que los esfuerzos de las empresas vinculadas al sector para generar talento son importantes, pero no necesariamente suficientes. Un apoyo estatal a estos programas podría lograr aumentar el alcance.

La coexistencia de excesos de demanda y de oferta de talentos relevantes para la cadena entre regiones puede deberse, entre otras causas, a fallas de coordinación que interfieren en la movilidad entre regiones como así también a que la calidad podría no ser homogénea o no específica a las necesidades de la demanda.

Asimismo, parte de los entrevistados ve más allá, y se preocupa por el cuello de botella que pueda resultar en el futuro. En este sentido, empresas como IBM tienen ya programas de fomento a nivel educación secundaria, y hay coincidencia en la necesidad de mayor fomento de carreras STEM y en apuntar a formar una mayor proporción de mujeres en estas áreas. En esa línea, según un estudio del Instituto Mexicano para la Competitividad (García Dobarganes, y Torres-Tirado, 2022), si bien entre 2012 y 2021 el número de mujeres profesionistas que estudiaron alguna carrera STEM aumentó 42%, solo 3 de cada 10 graduados de estas carreras son mujeres. El diagnóstico es aún más desfavorable, si se considera que sólo 6% de las alumnas de bachillerato de la Zona Metropolitana del Valle de México estaría interesada en estudiar una carrera de estas áreas de conocimiento (Culity, *et al.*, 2020). Aquí pueden estar operando fallas de información, pero también barreras culturales sobre las que se requiere un trabajo más persistente y profundo.

Finalmente, en materia de costos laborales, los entrevistados coinciden en que el talento disponible en México es competitivo respecto de otras localizaciones posibles. A su vez, las zonas geográficas en las que se emplazan las empresas se han constituido como ciudades atractivas, donde los recursos contratados están a gusto con el desarrollo de su vida personal, además de la profesional.

3.2.b. Innovación

Hemos visto que una de las principales características de la cadena es su excepcionalmente alta inversión en investigación y desarrollo, a la par de los niveles de otras como la farmacéutica o la aeroespacial (Varas *et al.*, 2021). La mayor parte de esta inversión se da en los primeros eslabones de la cadena, típicamente vinculados a la fase de diseño. En la etapa de *frontend* el I+D es necesario para lograr que los diseños de frontera sean efectivamente materializables físicamente. En las tareas de *backend* el I+D es menos preponderante, pero aun así es relevante a la hora de satisfacer las demandas de una cadena exigente en términos de soluciones y eficiencia.

En México hay representantes de este tipo de actividades altamente demandantes de innovación. Los casos más salientes son el centro de diseño de Intel en Guadalajara, a nivel empresarial, y el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) a nivel público.

Intel tiene dos centros de diseño en el continente americano, uno en Santa Clara (Estados Unidos) y el otro en Guadalajara. El GDC (*Guadalajara Design Center*), fundado en el año 2000, es el centro de ingeniería más grande de la compañía en América Latina y uno de sus seis centros de desarrollo de productos de largo plazo. El enfoque principal de este centro es el diseño de semiconductores en campos que abarcan el desarrollo y validación de plataformas, de servidores y memoria de próxima generación, así como la investigación avanzada en sistemas autónomos, neuromórficos y computación cuántica. Entre todo esto, se destaca su experiencia en software, hardware, inteligencia artificial, nube, data centers y su reciente contribución clave para el desarrollo de los productos *Xeon* y *Atom* (Intel, 2022).

En México, el GDC ha registrado más de 1.000 inventos y más de 100 patentes (Intel, 2022). Esto se da con una estrategia de redes: Intel apoya y está asociado con centros de innovación tecnológica patrocinados por universidades en todo el país, contribuyendo con capacitación y equipos para apoyar el desarrollo y la expansión del ecosistema.⁶ Según las fuentes consultadas, el objetivo de esto es “mostrar que la innovación es posible”, aunque esta red se ha desarrollado con una gobernanza débil y el grado de innovación ha sido inferior al esperado.

Por su parte, el sector público tiene un fuerte representante en el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), dependiente del CONACYT. El INAOE tiene cuatro líneas de investigación: astrofísica/astronomía, óptica/fotónica, computación/control automático, y microelectrónica/circuitos integrados. Esta cuarta línea de investigación (que actualmente cuenta con 8 investigadores) es fuertemente complementaria con las restantes, por lo que tiene un carácter transversal en la agenda del Instituto.

En esta transversal, uno de los grupos de trabajo del INAOE es el de Desarrollo de Sistemas Integrados bajo el principio de “sistemas de un solo chip” (SOC), con el cual se inserta explícitamente en el segmento de investigación precompetitiva en la cadena de semiconductores. Los proyectos de I+D del grupo SOC consisten en el diseño y creación de circuitos integrados para aplicaciones analógicas y digitales a medida, sobre todo en los campos de las telecomunicaciones, salud/biomedicina, óptica/fotónica y energía.⁷ También tiene investigadores trabajando con materiales (polímeros, silicio, entre otros), que se utilizan o podrían utilizarse en la fabricación de semiconductores. Siendo los semiconductores un nicho tecnológico donde las patentes importan y hay un mercado dinámico de licenciamiento, el centro tiene potencial para trabajar en pos de obtener patentes.

⁶ Estos centros operan actualmente en Zacatecas, Sonora, Tijuana, Mexicali, Mérida, Monterrey, Puebla, Querétaro y Guadalajara. Esto se suma a las actividades de desarrollo de talento, referidas parcialmente en la sección previa.

⁷ El grupo trabaja principalmente con la tecnología CMOS, que aún es la más utilizada en el mundo, en tamaños de 180 nm, 130 nm, 90 nm, y 65 nm. No obstante, de cara a las tecnologías de frontera en este segmento, se está empezando a abordar la tecnología FinFET, que trabaja con transistores de 20nm y ya se utiliza en laptops, smartphones, wearables, redes y coches.

Las actividades desarrolladas por el INAOE no se limitan a la investigación precompetitiva (lo cual ya es en sí mismo un gran valor para el territorio), sino que realiza también actividades propias del sector proveedor de software al eslabón de diseño, conocido también como *Electronic Design Automation* (EDA). El Instituto tiene convenios de colaboración con empresas de primera línea en el eslabón de Diseño, independientemente de su presencia en México (*Intel, Skyworks, Global Foundries, IBM*), realizando procesos de prueba y validación de diseños. De esta manera, la reputación del INAOE excede las fronteras nacionales, y se convierte en un activo estratégico para conducir el proceso de fortalecimiento de la CGV de semiconductores en México.

En este sentido, resulta clave el análisis de estas experiencias para su potencial escalado y la exploración de espacios donde se pueda fortalecer la articulación público-privada.⁸

Existe un relativo consenso acerca de que las intervenciones en esta materia deben dirigirse lo más “aguas arriba” posible (OECD, 2019). En el caso de los semiconductores, la etapa de investigación precompetitiva puede llevar más de diez años hasta ver materializados sus hallazgos en la cadena de producción. Se trata de un proceso de investigación de largo plazo, con riesgos mucho más altos que las inversiones en I+D dentro de los eslabones productivos de los semiconductores. De esta manera, la brecha de inversión respecto de lo socialmente deseable será mayor en el segmento precompetitivo que en el I+D que sucede, por ejemplo, a nivel de eslabón de diseño o producción. Los recursos destinados al INAOE son un ejemplo de fomento público a esta parte de la cadena.

No obstante, si la intención es desarrollar la cadena en torno al ecosistema productivo local, el gobierno de México podría pensar en incentivos dirigidos hacia el diseño de semiconductores optimizados para sus industrias y las demandas particulares de los mercados a los que éstas abastecen. En este sentido, tal como ya se ha señalado, se puede fomentar la investigación en circuitos no digitales (DAO), que fueron los más afectados por el *shortage*, con su consecuente impacto en las actividades locales. De hecho, esta es parte de la respuesta que algunos sectores demandantes de semiconductores y afectados por el desabastecimiento están empezando a tratar de manera privada. Un caso es el de General Motors, que ha firmado acuerdos para revisar la estructura de semiconductores de sus vehículos.⁹

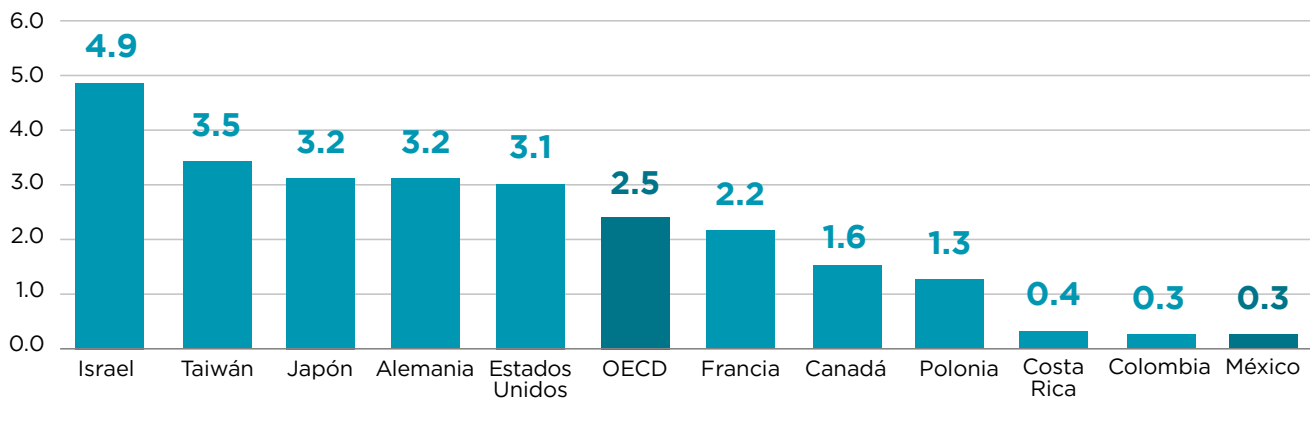
En un sentido general, más allá de la cadena de semiconductores en particular, México necesita aumentar la provisión de innovación como bien público; es el país de la OCDE con menor gasto en I+D como proporción del PIB: 0,3% frente al 2,5% del promedio de la OCDE (Figura 10). Parte de los entrevistados señalaron con preocupación esta debilidad,

⁸ Para el caso asiático, Ernst (2008) realiza un relevamiento de antecedentes de la expansión y relevancia de este tipo de redes en la cadena de semiconductores.

⁹ Ver por ejemplo <https://www.elfinanciero.com.mx/empresas/2022/03/16/advierten-mas-paros-en-armadoras-automotrices-en-mexico-durante-el-ano/>

que tiene aspectos sintomáticos como la baja o insuficiente colaboración entre empresas, por poner un ejemplo de los mencionados. Así, en términos de ecosistema, México tiene mucho que hacer aún para generar un entorno que sea favorable a la innovación, y que permita que las iniciativas existentes puedan escalar con mayor naturalidad, generar derrames y multiplicarse.

Figura 10. Gasto en I+D como porcentaje del PIB, países seleccionados (2019)



Fuente: Elaboración propia en base a OECD.

3.2.c. Desarrollo de proveedores y atracción de IED

A partir de su cercanía y su relación comercial con los Estados Unidos, México tiene una oportunidad de fortalecer las actividades de la cadena de los semiconductores en su territorio. En Estados Unidos, el programa *CHIPS for América* pretende recuperar la participación de ese país en el eslabón de fabricación de semiconductores, con un claro foco en las tecnologías de frontera. Esta iniciativa no se limita a una mera respuesta a la crisis de abastecimiento, sino que implica temas más complejos respecto de los efectos de la geopolítica sobre la resiliencia de la cadena y de la oposición de intereses nacionales de Estados Unidos frente a los de China. En este sentido, el rol de México se reedita en este nuevo escenario, como potencial socio estratégico en el plan estadounidense.

Puesto de manera simple, una mayor producción de semiconductores en occidente, en medio de un escenario de tensión geopolítica e incertidumbre logística, puede traer aparejada la necesidad de actividades anexas en geografías de occidente.

De este modo, el Tratado de Libre Comercio en México, Estados Unidos y Canadá (T-MEC) vigente desde mediados de 2020, podrá ser una pieza clave en las posibilidades de México, lo que debiera complementarse con su capacidad de atraer inversión extranjera directa en materia de producción de bienes anexas a la cadena, como materiales y equipamiento. A su vez, México puede llegar a ser considerado como un nuevo polo de *backend*, a fin de absorber el crecimiento en la producción *frontend* en los Estados Unidos.

La pregunta entonces es cuáles de estos bienes anexos pueden producir los empresarios mexicanos, y cuánto se puede desarrollar a través de IED. En este sentido, los resultados de las entrevistas no han sido muy auspiciosos, partiendo del hecho de que la opinión generalizada es que no hay suficientes empresas potenciales proveedoras, y además hay dificultad para ciertas certificaciones que son un requisito base para el desarrollo como proveedor. A pesar de esto, vale decir que hay empresas que trabajan en el desarrollo de proveedores locales, pero hay evidentes fallas de información (desconocimiento de lo que implica la cadena de semiconductores por parte del entramado productivo relacionado) y de coordinación. De hecho, Filipo y Guaipatín (2021) encuentran que estas fallas se dan también en varios sectores estratégicos de la economía mexicana.

De esta manera, el desarrollo de proveedores parece estar muy relacionado con la atracción de IED, para lo cual los otros determinantes de la competitividad mencionados en este estudio son factores de relevancia, sumados a otros de carácter más macroeconómico que hacen a la facilidad para hacer negocios en el país.

Finalmente, vale la pena aprovechar las experiencias de otros casos de desarrollo de proveedores consolidados en México. El antecedente más saliente posiblemente sea el del sector automotriz, que ha logrado una fuerte base de provisión no solo para la industria mexicana, sino también para otras industrias de Latinoamérica. Aquí, el apoyo gubernamental sobre las fallas de información a la hora de realizar acreditaciones y certificaciones de estándares para provisionar a cadenas de alta complejidad podrían resultar acciones de gran impacto para aumentar la competitividad y la base de potenciales proveedores.

3.2.d. Disponibilidad de servicios e infraestructura

El proceso de producción de semiconductores, específicamente el *frontend*, demanda de grandes cantidades de agua limpia y energía. Esto se potencia para los *fabs* de semiconductores de última generación. Según datos de Bloomberg, las fábricas de Intel, TSMC y Samsung (las únicas tres que se disputan la producción de dispositivos de menos de 10 nm a nivel global) ya estarían generando más gases de efecto invernadero de lo que generan las grandes automotrices, de la mano de un mayor consumo de agua y generación de residuos peligrosos.¹⁰ Tomando en cuenta esto, estas empresas han manifestado su compromiso para minimizar su huella de carbono, procurando abastecimientos energéticos a partir de fuentes renovables, entre otros aspectos.

Si bien en México no es viable el despliegue de actividades de *frontend* a corto plazo, y que el eslabón de *backend* tiene una demanda energética y de agua mucho menor, es importante tener en cuenta este contexto general. Esto es, las empresas demandarán no solo un suministro energético estable y de costo competitivo, sino que además se preocuparán por su balance de carbono.

¹⁰ Para más detalles ver, <https://www.supplychainbrain.com/articles/32910-the-chip-industry-has-a-problem-with-its-giant-carbon-footprint>

De acuerdo a las entrevistas realizadas, el tema energético será central para México.¹¹ Tomando como referencia el bloque de acceso a la energía eléctrica del índice *Doing Business* del Banco Mundial, México tiene la menor calificación entre un grupo de países seleccionados, que podrían considerarse “competidores” de México en ciertos segmentos de la cadena de valor de los semiconductores (Tabla 1): 71 puntos sobre 100, apenas por debajo de los 73 de Brasil, pero muy inferior a los 89 de Costa Rica. Por su parte, países como Singapur y Malasia superan los 90 puntos.

En cuanto al costo eléctrico, el precio relevado para México es de USD 16,5 centavos por KWh, bastante en línea con sus competidores de América Latina, pero muy superior al costo correspondiente en Asia.

En línea con aspectos destacados por los entrevistados, la tramitología es un problema para México también en este aspecto. De los países seleccionados, México es el de mayor número de trámites asociados al acceso a la energía: 7, frente a 5 en los demás países latinoamericanos, y 4 o menos en Asia (Tabla 2). La duración de esos trámites también es muy elevada en México en la comparación con otros países.

Finalmente, en cuanto a la estabilidad del suministro, México no parece tener un gran problema, presentando mejores indicadores que casi todos los países de la lista, y muy por encima de Brasil, que es bastante débil en este aspecto.

Tabla 2. Acceso a la Energía - *Doing Business* (2020)

País	Trámites		Cortes de suministro		Precio (USD cents/KWh)	Acceso a la electricidad (0-100)
	Nro. Procedimientos	Tiempo (días)	Duración (días)	Frecuencia		
Malasia	3.0	24.0	0.5	0.5	12.0	99.3
Singapur	4.0	26.0	0.1	0.1	5.5	91.8
India	3.5	52.9	3.7	2.4	18.2	89.4
Costa Rica	5.0	39.0	0.5	0.2	14.4	88.9
Israel	5.0	102.0	1.5	2.0	11.8	76.2
Brasil	5.0	128.5	6.6	3.7	17.5	72.8
México	6.8	100.4	0.6	0.9	16.5	71.1

Fuente: Elaboración propia en base a Banco Mundial

¹¹ El agua escasea bastante en la zona de la frontera con USA, donde se dan las actividades de backend de la cadena (que no es tan intensivo en este recurso como el *frontend*). Mexicali es quizás el punto de mejor disponibilidad.

Respecto de la composición de la matriz energética, el Instituto Belisario Domínguez, dependiente del Senado de la República, señala que el 93% de la matriz energética de México corresponde a energías no renovables, donde predominan las derivadas del petróleo (46%) y gas natural (39%).¹² Yendo específicamente a la energía eléctrica, la Ley de Transición Energética contempla que para el 2021 el 30% de la energía eléctrica consumida en el país provenga de fuentes limpias; el 35% para el 2024; el 45% para 2036, y que para el 2050 esta cifra sea del 60%.

En materia de infraestructura de transporte, de acuerdo al ranking de competitividad del Foro Económico Mundial (2019), México es el mejor rankeado entre sus competidores de América Latina, con 4.1 puntos sobre 7 en un compuesto que considera la calidad de las infraestructuras de transporte aéreo, terrestre, marítimo y ferroviario (Tabla 3). De nuevo, la brecha con los países asiáticos es notable, con Singapur por encima de los 6 puntos. No obstante, la cercanía con Estados Unidos en un contexto de tensión geopolítica y los costos de transporte afectados al alza por diversos factores pueden revalorizar la posición de México, sin desmedro de la necesidad de mejoras en la calidad de la infraestructura general. Esto desde luego es un aspecto horizontal que contribuye a la mejora de la competitividad agregada de la economía, más allá del caso particular de las actividades vinculadas a los semiconductores.

Tabla 3. Calidad de infraestructura (1 a 7) - *Global Competitiveness Index* (2019)

	Aéreo	Marítimo	Terrestre	General
Singapur	6.9	6.7	6.3	6.4
Malasia	5.7	5.4	5.3	5.3
India	4.6	4.6	4.3	4.6
México	4.4	4.3	4.4	4.1
Brasil	3.9	3.1	3.1	3.1
Costa Rica	4.5	3.4	2.6	3.1

Fuente: Elaboración propia en base a World Economic Forum

3.2.e. Incentivos de gobierno

Para la cadena de valor de los semiconductores los incentivos de gobierno resultan de gran importancia, con matices en sus eslabones. En cuanto a I+D, usualmente los gobiernos suelen dar un fuerte apoyo a la investigación precompetitiva, que involucra largos procesos (más de diez años) de investigación antes de llegar a convertirse en aplicaciones comerciales.

¹² Para más detalles ver <https://contralinea.com.mx/el-93-de-la-matriz-energetica-de-mexico-es-no-renovable-ibd/>

Este apoyo se canaliza a través de institutos, universidades y colaboraciones con privados. No obstante, los gobiernos fomentan también el I+D en eslabones específicos a través de diferentes estrategias, como subsidios o deducciones impositivas. Estas intervenciones se justifican debido a las externalidades positivas que resultan de las actividades I+D: los gobiernos buscan fomentar esta actividad que, de otro modo, sería subejecutada por las empresas en términos de lo socialmente deseable.

Esto último es parte de los paquetes anunciados por los países centrales a fin de lograr una posición de liderazgo en la carrera tecnológica en la próxima década. Este fomento a la investigación es el complemento del principal foco de los paquetes, que buscan atraer capital físico en el eslabón de *frontend*. En la Tabla 4 se procura resumir el espíritu de los programas anunciados, para dar una noción de las herramientas actuales en materia de fomento. Como en el estímulo de I+D, existen herramientas de subsidios y tributarias, así como otras de financiamiento de tierras, la participación de capital, y el cofinanciamiento.

Tabla 4. Resumen de las respuestas de política anunciadas ante la crisis de abastecimiento

País	Monto Anunciado (miles de millones)	Horizonte	Políticas Confirmadas	Eslabones priorizados
China	USD 150	2030	- Participación de capital - Incentivos tributarios	<i>Frontend</i> y Diseño
Estados Unidos	USD 52	2026	- Otorgamiento de terrenos - Créditos subsidiados	
Unión Europea	~ USD 30	2030	- Subsidio a la I+D	
Corea del Sur	USD 400*	2030	El paquete no está definido al momento de escribir este informe, pero se define como un sistema de “créditos impositivos para la inversión en equipamiento y facilidades de producción de semiconductores”.	<i>Frontend</i> y Diseño
India	USD 10			
			El paquete no está definido al momento de escribir este informe, pero se pretende subsidiar inversiones y generar espacios de coordinación.	<i>Frontend</i> y Diseño
			- Deducciones impositivas para I+D - Crédito subsidiado - Infraestructura	<i>Frontend</i> y Diseño
			- Cofinanciamiento de inversiones	<i>Frontend</i>

* Este monto incluye inversiones privadas de Samsung y SK Hynix en las que el gobierno participa sólo en parte.

Fuente: Elaboración propia en base a diversas fuentes

La totalidad de los entrevistados ha coincidido en señalar a los incentivos de gobierno como un aspecto central en la consecución del objetivo de consolidar la cadena en México. En este sentido, no solo se trata de ofrecer estímulos para reducir el costo de inversión a las empresas, sino también de transmitir reglas de juego consistentes y compromiso de largo plazo. Para las fuentes consultadas, un pronunciamiento fuerte por parte del gobierno en la decisión del fomento de la cadena de valor en su territorio sería el punto de partida para empezar a tener conversaciones con las empresas en materia de inversión. A su vez, esto serviría como mecanismo para contribuir a corregir fallas de información, ya que existe la percepción de que este tipo de fallas podría explicar en parte las deficiencias mexicanas en materia de desarrollo de proveedores, por ejemplo. Por supuesto, el compromiso oficial debería acompañarse de un conjunto consistente de políticas que aborden cada una de las temáticas abordadas en estos apartados.

3.2.f. Facilidad de comercio y tramitología

Otra condición de base para las actividades de la cadena es la facilidad de comercio. En una cadena tan globalizada como la de los semiconductores, las políticas de comercio de los países resultan un elemento crucial para su resiliencia.

En el marco internacional dado por la Organización Internacional del Comercio (WTO), hay 82 países que representan el 97% del comercio de productos tecnológicos¹³ nucleados bajo el Acuerdo Plurilateral de Tecnologías de la Información (ITA, por sus siglas en inglés). Este acuerdo (iniciado en 1996) consiste en la eliminación de las tarifas de importación de 201 productos, 33 de los cuales están directamente ligados a la cadena de semiconductores. Según un artículo de la OECD (2019), este marco condujo a una sustancial reducción del arancel promedio para la cadena.

Con todo, esta baja en las medidas arancelarias no significa por sí misma un incremento en las facilidades de comercio de la cadena. De hecho, este proceso se dio en paralelo con un incremento de medidas no arancelarias (NTMs) de comercio, las cuales incluyen estándares de producción, normativa de propiedad intelectual y requerimientos particulares de contratación pública.¹⁴

¹³ Vale mencionar que, si bien se trata de un acuerdo multilateral “limitado”, las eliminaciones tarifarias asociadas al acuerdo aplican en base al arancel Nación Más Favorecida (MFN), beneficiando también a los restantes miembros de la WTO que no participan explícitamente del acuerdo.

¹⁴ Esto último es particularmente relevante cuando el foco está puesto en la seguridad nacional; allí pueden aparecer restricciones de composición de la mesa directiva de la compañía o de su residencia legal, y pueden extenderse también a las inversiones en el país. La seguridad nacional ha sido también la bandera en base a la cual se enarbolaron políticas de restricciones a la exportación, las cuales tienen larga data en la historia de la cadena de los semiconductores. En este sentido, el Acuerdo de Wassenaar sobre el Control de Exportaciones de Armas Convencionales y Tecnologías y Bienes de Uso Dual de 1996 ha servido para restringir exportaciones de ciertas piezas o componentes más ligados al sector militar.

A este respecto, puede decirse que México se encuentra en una situación provechosa, ya que el país cuenta con 13 acuerdos de libre comercio vigentes con 50 países y, sobre todo, una relación comercial consolidada con Estados Unidos. En este sentido, el T-MEC puede oficial de marco propicio para el desarrollo de actividades conexas a la cadena de semiconductores en México, de la mano del plan de inversiones planteado por el gobierno estadounidense de cara a 2030.

Las dificultades para una tramitología ágil ha sido una preocupación recurrente en las entrevistas realizadas. En general, la visión de los entrevistados es que en México se dan pérdidas de eficiencia para cumplimentar trámites de numerosos requisitos y de tiempos extensos. En particular, se señala que esta situación afecta ciertas operaciones de comercio internacional pero también se extiende a la gestión de permisos y habilitaciones en otros ámbitos.

Más allá de lo anterior, para el caso particular del comercio exterior, en la Tabla 5 se aprecia que de manera general México es el país mejor puntuado en relación a otros de América Latina, pero efectivamente tiene una evaluación algo inferior que los países de Asia. Si bien el puntaje de México en este indicador del *Doing Business* del Banco Mundial es bueno (82.5 puntos sobre 100), el hecho de que todos los entrevistados coincidieran en limitantes en el aspecto de tramitología de comercio puede estar alertando sobre cambios desfavorables recientes. En efecto, en el estudio de Filippo y Guaipatin (2021) los empresarios mexicanos coinciden en que ha habido una complejidad creciente en la gestión empresarial de programas como el IMMEX.

Tabla 5. Facilidad de comercio (1 a 100) - *Doing Business* (2020)

País	Exportación		Importación		Índice
	Tiempo	Costo	Tiempo	Costo	
Singapur	99.4	90.8	99.2	94.3	89.6
Malasia	94.7	91.3	97.7	91.4	88.5
India	93.7	85.5	92.1	85.7	82.5
México	95.9	85.0	93.1	85.7	82.1
Costa Rica	86.4	80.0	89.5	89.3	77.6
Brasil	93.5	43.4	90.4	84.7	69.9

Fuente: Elaboración propia en base a World Bank

Así, puede decirse que se trata de un eje que no hace solo a la cadena de semiconductores, sino que amerita un trabajo de llegada horizontal a todas las actividades económicas en el país. En ese sentido, según la Encuesta Nacional de Calidad Regulatoria e Impacto Gubernamental en Empresas (ENCRIGE) que realiza el INEGI (2021), el 28% de las unidades económicas consideraron que el marco regulatorio (entendiendo como tal a la realización de trámites y la atención de normas, licencias, permisos o inspecciones gubernamentales) resultó ser un obstáculo para el cumplimiento de sus objetivos de negocio. A su vez, en 2020 el 46% consideró que las cargas de cumplimiento fueron iguales o mayores a las de 2019.

4. Recomendaciones de Política y Conclusiones

Como reflexiones finales al estudio, se ha encontrado que dentro de los ejes analizados hay muchos aspectos que no son exclusivos de la cadena de los semiconductores. Estos puntos demandarían de acciones de política de carácter horizontal, con alcance transversal a diversos sectores de la economía mexicana. No obstante, habrá aspectos en la que la generación de bienes públicos verticales puede ser requerida, a fin de apuntar específicamente a los requerimientos de la cadena para su desarrollo en el territorio mexicano.

En el caso del **talento**, se encontró que el sector privado tiene una estrategia propia de generación y aseguramiento de recursos humanos altamente calificados para la cadena. Esto opera como respuesta a los desafíos que enfrenta la cadena a nivel global, en su competencia con otros sectores tecnológicos de alta rotación de personal. En este contexto, el sector público puede contribuir con la provisión de bienes públicos verticales, tales como la promoción de carreras universitarias que sean críticas para la cadena. A su vez, se podría realizar un análisis para contribuir a mejorar las tasas de egreso, así como a aumentar la base de matriculación con una mayor participación de mujeres. El sector público puede optar por intervenciones de mercado verticales en las que forme parte de la red de los programas de formación que las empresas tienen ya con universidades y centros de investigación.

La **innovación** es un aspecto que se encuentra débil en el país en general. La recomendación que emerge es la de elaborar una estrategia integral de fomento para toda la economía, que puede implicar intervenciones de mercado horizontales como los mecanismos de *matching grants* para I+D. En lo específico a la cadena, el INAOE es el referente en materia de investigación precompetitiva, desarrollando actividades que no se limitan a la cadena de semiconductores pero que están vinculadas a ella.

El **desarrollo de proveedores** es otro aspecto que demanda acciones horizontales, ya que lo que sucede a nivel de cadena de semiconductores se replica en otros sectores de la economía mexicana. Aquí predominan las fallas de información, en la que los potenciales proveedores no están al tanto ni de las oportunidades de inserción en cadenas globales ni de los requisitos de éstas en materia de certificaciones y procedimientos. En lo específico a la cadena, surgen aspectos de coordinación; para tener una base de proveedores sólida se requiere atraer IED, pero estas se verán menos atraídas por una red de proveeduría poco desarrollada. En este caso, serán necesarias intervenciones de mercado (subsidios, exoneraciones fiscales) y bienes públicos (desarrollo de infraestructura, simplificación de burocracia) que faciliten estos arribos.

La dimensión de la **provisión de servicios públicos** de calidad y competitivos tiene que ver con lo anterior y demanda intervenciones del tipo de bienes públicos horizontales. En esta misma categoría entra la reducción de burocracias asociada a los reclamos por la **tramitología**.

No obstante, la cadena de semiconductores, en su escenario global, demanda también que los países otorguen **incentivos de gobierno** (intervenciones verticales), como señal del compromiso del país con el desarrollo de la cadena. En este aspecto, México deberá evaluar los puntos que desea fortalecer para elegir las herramientas que mejor se adapten. Deducciones impositivas, subsidios a la formación de talento, financiamiento en condiciones favorables, tanto a nivel federal como estatal entran dentro de la gama de medidas a evaluar.

En lo que refiere a lo anterior, México tiene especialización en el eslabón de diseño y el de *backend*. El eslabón de diseño es intensivo en conocimiento y se vería favorecido por una sólida política de fomento del I+D, como se señaló más arriba. El eslabón de *frontend*, por su parte, puede demandar intervenciones de mercado específicas en materia de otorgamiento de tierras, exenciones fiscales, entre otras. No obstante, de nuevo es un requisito de base la reducción de burocracias y la garantía de la facilidad de comercio.

En la Tabla 6 se resume lo planteado hasta aquí, por dimensión de análisis, considerando ventajas, desventajas y líneas de acción sugeridas. Como se mencionó al principio, México no debería dar la batalla de tecnología de punta en fabricación de circuitos digitales, sino apuntar a nichos en los que ya tiene fortalezas y puede ganar espacio resolviendo ciertas fallas que, a su vez, pueden ser transversales a toda la economía y no necesariamente estar limitadas a la cadena de los semiconductores. De esta forma, el camino que el país debe emprender para reposicionarse en el nuevo esquema global que se determina en la cadena de los semiconductores es el mismo que necesita para aumentar la competitividad agregada de sus factores.

Tabla 6. Resumen de dimensiones de análisis y recomendaciones de política

Dimensión	Ventajas	Desventajas	Recomendaciones
Talento	<ul style="list-style-type: none"> • +100 mil ingenieros afines a la cadena graduados anualmente. Costo de vida competitivo en ciudades bien valoradas por sus trabajadores. • Empresas de la cadena realizando actividades de formación coordinadas con universidades locales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Insuficiencia de perfiles de ingenieros en zonas donde produce la cadena. • Competencia con otras actividades TIC por el talento a escala local y global. • Baja representación de las mujeres en estas carreras. • Si bien el ratio egresados/ ingresantes es alto (53-55%), podría mejorarse. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bienes públicos: Promoción de carreras universitarias afines, estrategias de mejora en las tasas de egreso y aumento de intención de estudio en mujeres. • Intervenciones de mercado: Apoyo a las estrategias ya vigentes de formación que articulan esfuerzos de universidades y empresas.
Innovación	<ul style="list-style-type: none"> • Presencia de actividades asociadas a alto I+D (Intel en diseño, INAOE en investigación precompetitiva). 	<ul style="list-style-type: none"> • Poca efectividad de las actividades innovativas. • Bajo nivel agregado (en México en general) de inversión en I+D. 	<ul style="list-style-type: none"> • Intervenciones de mercado: Sistema de matching grants para la I+D, fortalecimiento de iniciativas vigentes en institutos públicos con articulación privada, como el INAOE. Considerar innovaciones de semiconductores para industrias fuertes en México, como la Automotriz.
Desarrollo de proveedores y atracción de IED	<ul style="list-style-type: none"> • Cercanía con USA, mismo huso horario y marcos comerciales facilitadores. • Experiencias positivas de desarrollo de proveedores (automotriz). 	<ul style="list-style-type: none"> • Fallas de coordinación, dependencia de IED. • Fallas de información sobre oportunidades en la cadena. Falta de base de empresas proveedoras. Falta de certificaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Intervenciones de mercado: Subsidios o exoneraciones fiscales para atraer IED, subsidios y apoyo para certificaciones. Bienes públicos: Mesas sectoriales.
Servicios públicos e infraestructura	<ul style="list-style-type: none"> • Buen acceso a energía e infraestructura respecto a competidores regionales. • Cercanía con USA reduce costos de transporte. 	<ul style="list-style-type: none"> • Acceso a la energía menos competitivo que rivales asiáticos. • Calidad de infraestructura inferior respecto de Asia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Intervenciones de mercado: Financiamiento para instalación de empresas ancla y parques industriales.
Incentivos de gobierno	<ul style="list-style-type: none"> • Posibilidad de ofrecer fondos de atracción de inversión en segmentos con menos competencia internacional. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere un fuerte compromiso del gobierno con el desarrollo de largo plazo de la cadena. 	<ul style="list-style-type: none"> • Intervenciones de mercado: Subsidios y deducciones fiscales para empresas ancla en segmentos clave para México en los que la competencia internacional no es tan feroz.
Facilidad de comercio y tramitología	<ul style="list-style-type: none"> • Gran cantidad de acuerdos de libre comercio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Empeoramiento de tramitología de comercio internacional. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bienes públicos: Simplificación de trámites y mejoras de coordinación.

Fuente: Elaboración propia.

Bibliografía

Accenture (2022). Harnessing the power of the semiconductor value chain. Disponible en: https://www.accenture.com/_acnmedia/PDF-169/Accenture-Semiconductor-Value-Chain-Reportzoom.pdf

BID (2022). Fortaleciendo las cadenas regionales de valor en América Latina y el Caribe: Microprocesadores y Semiconductores. Sector de Integración y Comercio Unidad de Integración Regional. Draft - Febrero 2022

Calhounm G. (2021). Semiconductors: The CHIPS Act – Is it really necessary? (Part 3). Recuperado de <https://www.forbes.com/sites/georgecalhoun/2021/11/29/semiconductors-the-chips-act--is-it-really-necessary-part-3/?sh=868ec5cde936>

Capri, A. (2020). Semiconductors at the heart of the US-China tech war. Hinrich Foundation, <https://www.hinrichfoundation.com/research/white-paper/trade-and-technology/semiconductors-at-the-heart-of-the-us-china-tech-war>

Crespi, G., Fernández-Arias, E., Stein, E. (2014). ¿Cómo repensar el desarrollo productivo?: Políticas e instituciones sólidas para la transformación económica. Inter-American Development Bank.

Cuilty, K., Muñiz Morales, A. y Gómez, E. (2020.) Mujeres eligiendo carreras STEM. Movimiento STEM.

Ernst, D. (2008). Asia's' Upgrading Through Innovation' Strategies and Global Innovation Networks: An Extension of Sanjaya Lall's Research Agenda. Transnational Corporations, 17(3), 31-57. FIIDEM (2018). Estudio Regionalizado de Oferta Demanda de las Carreras de Ingeniería. Presentación ejecutiva. Disponible en: <http://alianzaifiidem.org/pdfs/4-Reporte-Presentacion-Ejecutiva-16022019.pdf>

Filippo, A. y Guaipatín, C. (2021). Modelo de intervención en las cadenas globales de valor de las industrias pesadas y otros sectores estratégicos en México. Banco Interamericano de Desarrollo, Nota técnica. Disponible en: <https://publications.iadb.org/es/modelo-de-intervencion-en-las-cadenas-globales-de-valor-de-las-industrias-pesadas-y-otros-sectores>

García Dobarganes, P. y Torres-Tirado, F. (2022). ¿Dónde están las científicas? Brechas de género en Carreras STEM. Instituto Mexicano para la Competitividad. Disponible en: <https://imco.org.mx/en-mexico-solo-3-de-cada-10-profesionistas-stem-son-mujeres/>

Gartner (2021). Design & Reuse, IC insights, Market Share Analysis: Semiconductors, Worldwide, Preliminary, extraído de Statista.

Gartner (2022). Market Share Analysis: Semiconductors, Worldwide, Preliminary 2021. <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2022-01-19-gartner-says-worldwide-semiconductor-revenue-grew-25-point-one-percent-in-2021-exceeding-500-billion-for-the-first-time>.

Global Times (2022). Semiconductor supply chain to see more volatility this year (January 5), <https://www.globaltimes.cn/page/202201/1245202.shtml>

IC Insights (2021) McClean Report—A Complete Analysis and Forecast of the Integrated Circuit Industry

INEGI (2021). Encuesta Nacional de Calidad Regulatoria e Impacto Gubernamental en Empresas, Principales Resultados. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/encrige/2020/doc/encrige2020_presentacion.pdf

Infineon Strategic Analytics (2016). Infineon Annual Report 2016, extraído de Statista.

Infineon Strategic Analytics (2021). Second Quarter FY 2021 Quarterly Update, extraído de Statista

Intel (2022). Oportunidades de desarrollo de semiconductores en México.

Kleinhans, J. & Baisakova, N. (2020). The Semiconductor Value Chain: a technology primer for policy makers. Stiftung Neue Verantwortung, October 2020. Recuperado de https://www.stiftung-nv.de/sites/default/files/the_global_semiconductor_value_chain.pdf

Mönch, L.; Uzsoy, R. & Fowler, J. (2017): A survey of semiconductor supply chain models part I: semiconductor supply chains, strategic network design, and supply chain simulation, International Journal of Production Research, DOI: 10.1080/00207543.2017.1401233

OCDE (2017). OECD Skills Strategy Diagnostic Report Mexico. Disponible en: <https://www.oecd.org/mexico/OECD-Skills-Strategy-Diagnostic-Report-Mexico.pdf>

OCDE (2019). Measuring distortions in international markets: The semiconductor value chain. Recuperado de: [https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=TAD/TC\(2019\)9/FINAL&docLanguage=En](https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=TAD/TC(2019)9/FINAL&docLanguage=En)

Richard, C., Hamling, D., Stewart, D. y Ramachandran, K. (2021). Five fixes for the semiconductor chip shortage. Recuperado de: <https://www2.deloitte.com/xo/en/insights/industry/technology/semiconductor-supply-chain-solutions.html>

Rojas, A. (2021). Consultoría en revisión y modernización del Programa de Fomento de la Industria Manufacturera, Maquiladora y de Servicios de Exportación en México (Programa IMMEX). Banco Interamericano de Desarrollo.

SIA (2016). Beyond Borders: The global semiconductor value chain. Nathan Associates for Semiconductor Industry Association. Recuperado de: <https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2018/06/SIA-Beyond-Borders-Report-FINAL-June-7.pdf>

SIA (2020). U.S. needs greater semiconductor manufacturing incentives. Recuperado de: <https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2020/07/U.S.-Needs-Greater-Semiconductor-Manufacturing-Incentives-Infographic1.pdf>

SIA (2022). Global Semiconductor Sales, Units Shipped Reach All-Time Highs in 2021 as Industry Ramps Up Production Amid Shortage. Recuperado de: <https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2022/02/December-2021-GSR-table-and-graph-for-press-release.pdf>

Tetakawi (2021). Is Semiconductor Manufacturing in Mexico the Answer to Chip Shortage?. Disponible en <https://insights.tetakawi.com/semiconductor-manufacturing-in-mexico-chip-shortage>

The Information Network (2020). Seeking Alpha extraído de Statista.

Varas, A., Varadarajan, R., Goodrich, J. & Yinug, F. (2020). Government Incentives and US Competitiveness in Semiconductor Manufacturing. Boston Consulting Group for Semiconductor Industry Association, September 2020. Recuperado de: <https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2020/09/Government-Incentives-and-US-Competitiveness-in-Semiconductor-Manufacturing-Sep-2020.pdf>

Varas, A., Varadarajan, R., Goodrich, J. & Yinug, F. (2021). Strengthening the global semiconductor supply chain in an uncertain era. Boston Consulting Group for Semiconductor Industry Association, April 2021. Recuperado de https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2021/05/BCG-x-SIA-Strengthening-the-Global-Semiconductor-Value-Chain-April-2021_1.pdf

WSTS (2021). World Semiconductor Market Forecast, World Semiconductor Trade Statistics (WSTS), en https://www.wsts.org/esraCMS/extension/media/f/WST/5263/WSTS_nr-2021_11.pdf

Apéndice 1. México y el comercio internacional de semiconductores

Una forma de dimensionar los distintos eslabones de la cadena es a partir de los números de comercio exterior. Desde luego que se trata de una aproximación imperfecta, ya que puede haber filtraciones en ventas internas. En el caso de una cadena tan globalizada donde casi la totalidad de los bienes son exportados, el problema no es tanto por ese lado, sino por la dificultad de captar prestaciones de servicios, más ligadas a las actividades que Intel e INAOE realizan en México.

Para este caso, se ha adaptado la clasificación de OECD (2019) para cuadrar las partidas arancelarias a seis dígitos de la codificación HS con la descripción de la cadena realizada en la Figura 5. El detalle de esa clasificación se presenta en la Tabla 7.

Para el caso de México, se consideran los segmentos de Equipamiento, Dispositivos semiconductores, y los Dispositivos pasivos, que son componentes de los circuitos finales. Tomando en cuenta esto, las exportaciones mexicanas de la cadena de semiconductores ascendieron a USD 9.024 millones en 2021, mientras que las importaciones fueron 4 veces ese valor, con un total de USD 35.3858 millones, resultando un déficit de USD 26 mil millones. Este ratio entre importaciones y exportaciones se redujo en una unidad en 2020 y 2021 respecto de su nivel en 2018-19, cuando era de 5 veces (Tabla 8). Así, mientras que las exportaciones crecieron a una tasa anualizada del 14% en los últimos tres años, las importaciones lo hicieron a un 5%.

Tabla 7. Clasificación de fracciones arancelarias (HS 2007) para la cadena de semiconductores

Segmento	Subsegmento	Tipo de semiconductor		Circuito Integrado	Fracciones
Materia Prima	Silicio				280461, 284920
	Germanio				282560
	Arseniuro de Galio				811292, 811299
Wafers crudos	Wafers crudos				370130, 70790, 70199
Equipamiento	Maquinaria de impresión				848610, 848690
	Maquinaria de test de wafers				903082, 903141
	Material óptico				900190, 00219, 900220, 00290, 901210, 01290, 903082, 03141
	Ventiladores				841459
	Manejo de temperatura				841950
	Filtrado y purificado				842129, 42139, 842199
	Maquinaria de armado de circuitos				848620, 48640, 848690
Frontend output	Wafers impresos				381800
Dispositivos semiconductores	Circuitos Integrados	Circuitos digitales	Procesadores (Lógicos)		854231
			Memoria		854232
		Circuitos Analógicos	Amplificadores		854233
			Otros CI	Otros	854239, 54290, 855351, 52352, 852359
	Dispositivos Discretos	Diodos			854110
					854121, 854129
					854130
					854140
					854150, 854190
Dispositivos pasivos	Componentes Básicos	Capacitores			853290
					853310, 53321, 853329, 53331, 53339, 853340, 853390
	Componentes	Circuitos impresos			853400
	Electromecánicos	Cristales de cuarzo			854160

Tabla 8. México: Exportaciones e Importaciones por segmento de la cadena de semiconductores (2018-2021)

Segmento	Variable	2018	2019	2020	2021	Crecimiento anualizado
Equipamiento	Exportaciones	2.723,3	2.931,1	3.274,8	3.941,8	13%
	Importaciones	3.044,6	3.135,3	2.719,5	3.308,8	3%
	Ratio	1,1	1,1	0,8	0,8	
Dispositivos semiconductores	Exportaciones	2.996,8	3.054,1	3.639,2	4.546,7	15%
	Importaciones	24.160,4	25.940,1	23.987,3	27.877,2	5%
	Ratio	8,1	8,5	6,6	6,1	
Dispositivos pasivos	Exportaciones	411,1	411,3	531,0	535,2	9%
	Importaciones	3.393,0	3.413,4	3.090,2	4.172,1	7%
	Ratio	8,3	8,3	5,8	7,8	
Total	Exportaciones	6.131,2	6.396,5	7.444,9	9.023,7	14%
	Importaciones	30.597,9	32.488,7	29.797,0	35.358,2	5%
	Ratio	5,0	5,1	4,0	3,9	

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Secretaría de Economía

Al descomponer por segmento, vemos que el de los dispositivos semiconductores es el más relevante, significando el 50% de las exportaciones (presumiblemente a partir de las actividades de *Skyworks* y *Texas Instruments* en México), y el 80% de las importaciones de la cadena, debido a la fuerte demanda por parte de la industria electrónica y demás verticales asociadas. De esta manera, el déficit comercial de México en la cadena se da mayormente en este segmento.

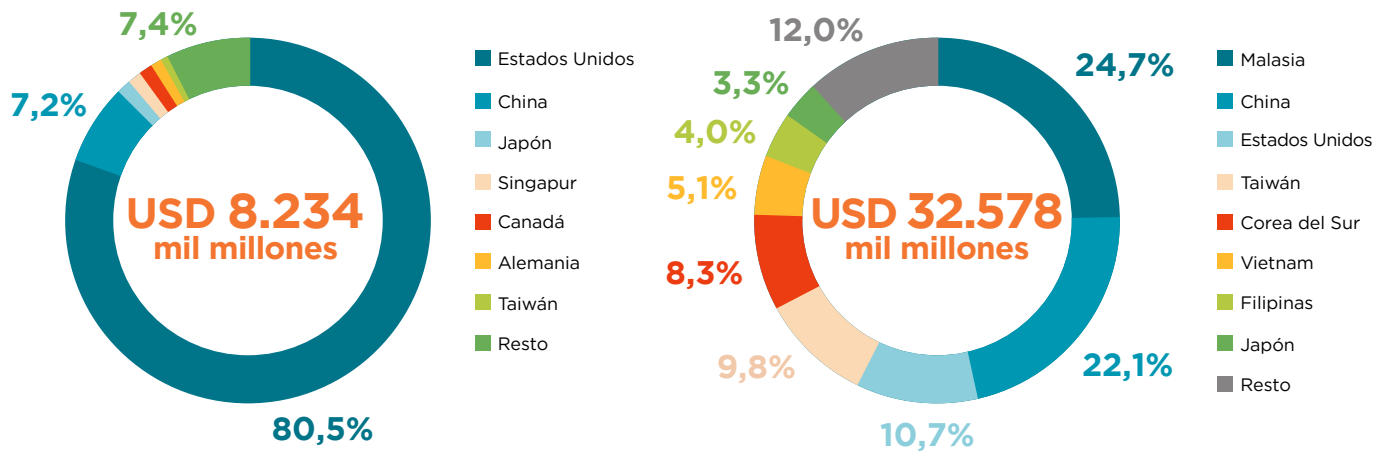
México exporta casi tanto en partidas asociadas al equipamiento de la cadena de semiconductores, como en dispositivos semiconductores en sí. A su vez, en 2020 y 2021 el saldo comercial del grupo de productos resultó levemente favorable a México, con un valor exportado anual promedio de USD 3.608 millones, y uno importado de USD 3.014 millones.

Finalmente, se tiene a los dispositivos pasivos, que son accesorios a la cadena de semiconductores, pero poseen un valor unitario muy inferior al de los circuitos integrados, debido a que tienen una complejidad tecnológica sustancialmente menor. No obstante, vemos que México exporta aproximadamente 8 veces lo que importa en materia de estos productos, que incluyen a resistores, capacitores y otros electrónicos sin capacidad de semiconducción.

Finalmente, en la Figura 11 podemos visualizar orígenes y destinos del comercio de semiconductores para México. Respecto de las exportaciones, más del 80% son dirigidas a Estados Unidos. China es el segundo destino de relevancia, con el 7% del valor exportado en 2020-2021.

Respecto de las importaciones, como es de esperar, el set de socios comerciales es más variado y es encabezado por los principales países asociados al eslabón de backend de la cadena. Así, el principal origen de los semiconductores importados por México es Malasia (25%) y la propia China continental (22%). Estados Unidos es el tercer origen, con un 11%, seguido por un set de países asiáticos como Taiwán (10%), Corea del Sur (8%), Vietnam

Figura 11. Principales orígenes y destino del comercio de semiconductores para México (2020-2021)

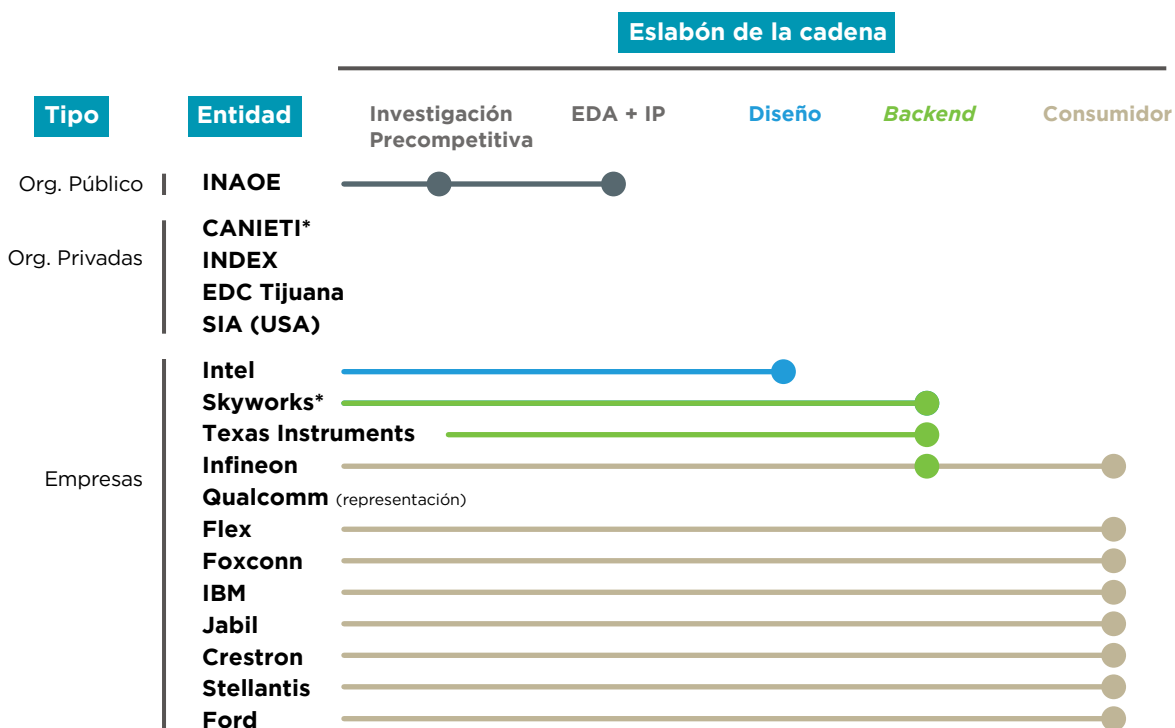


Fuente: Elaboración propia en base a datos de Secretaría de Economía

Apéndice 2. Fichas de las empresas de semiconductores entrevistadas

Este estudio combinó el análisis de cadenas de valor con entrevistas en profundidad realizadas a actores de relevancia para la cadena de semiconductores en México. En la Tabla 9 se presenta un listado de las entrevistadas, junto con una aproximación de su ubicación en las actividades de la CGV de los semiconductores en México (esto no quita que las empresas realicen otro tipo de actividades en otras locaciones).

Tabla 9. Listado de entrevistados y su ubicación en la cadena de semiconductores en México



* Entrevistas realizada informalmente. Fuente: Elaboración propia en base a World Bank

En lo que sigue, se presentan los perfiles de los entrevistados.

INAOE

El Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) es un centro de investigación público perteneciente al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), fundado en 1971. Está ubicado en el pueblo de Tonantzintla, en el estado de Puebla. Además, es un centro de educación superior con programas de calidad certificada en maestría y doctorado en astrofísica, óptica, electrónica, ciencias computacionales, ciencia y tecnología del espacio, y ciencias y tecnologías biomédicas.

El INAOE tiene cuatro líneas de investigación: astrofísica/astronomía, óptica/fotónica, computación/control automático, y microelectrónica/circuitos integrados.

Esta cuarta línea de investigación (que tiene 8 investigadores) se necesita en las otras cuatro, de manera que tiene un carácter de transversal respecto de las demás líneas. A partir de aquí es que el INAOE realiza actividades asociadas a la investigación precompetitiva de la CGV de los semiconductores, pero también ofrece servicios de EDA a empresas relevantes de la cadena, aún si éstas no cuentan con actividad en México.

<https://www.inaoep.mx/>

CANIETI

La Cámara Nacional de la Industria Electrónica, de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información nace en 1935 como una entidad representativa de los tres sectores en su nombre, y promoviendo su desarrollo en un entorno global con servicios de alta calidad. CANIETI es una institución de interés público, autónoma, con personalidad jurídica y patrimonio propio, diferente al de cada uno de sus afiliados.

La Cámara está integrada por más de 1000 empresas afiliadas en todo México, 90% de las cuales son PyMEs. No hay en esta cámara empresas vinculadas directamente a la cadena de semiconductores, pero sí una gran base de demandantes de la cadena.

<http://www.canieti.org/Inicio.aspx>

INDEX

El Consejo Nacional de la Industria Maquiladora y Manufacturera de Exportación INDEX es un consorcio de la industria manufacturera de exportación con más de cinco décadas

de operación. Entre sus miembros está el top mil de las empresas de manufacturas avanzadas de México.

<https://www.index.org.mx/index.html>

Tijuana EDC

Tijuana EDC brinda servicios especializados de asesoría y logística de negocios para las empresas que están considerando la posibilidad de instalar maquiladoras en México. Entre su base de clientes y socios se encuentra un buen número de empresas demandantes de semiconductores.

<https://tijuanaedc.org/es/>

Semiconductor Industry Association (SIA)

La *Semiconductor Industry Association* (SIA) nuclea a las empresas que representan el 80% de la producción de la cadena de semiconductores en Estados Unidos. Fue fundada en 1977 con el objetivo de fortalecer el liderazgo de Estados Unidos en el diseño y la fabricación de semiconductores, trabajando con las empresas, el gobierno y otras partes interesadas clave de la industria para fomentar políticas y regulaciones que impulsen la innovación, impulsen los negocios e impulsen la competencia internacional.

<https://www.semiconductors.org/>

Intel

Intel Corporation es el mayor fabricante de circuitos integrados del mundo, con una estructura de negocios integrada, a pesar de que también terceriza parte de sus procesos. La compañía estadounidense fundada en 1968 es la creadora de la serie de procesadores x86, presentes en la mayoría de las computadoras personales. Durante la década del noventa, fue la responsable de muchas de las innovaciones del hardware de los computadores personales, incluyendo los buses USB, PCI, AGP y PCI-Express.

Su presencia global incluye operaciones en Estados Unidos, Costa Rica, México, Irlanda, Alemania, Polonia, Israel, India, China, Malasia y Vietnam, empleando en el agregado a más de 110,000 personas. Las distintas actividades de producción se distribuyen de acuerdo a las ventajas de cada país.

En México se encuentra el centro de ingeniería más grande de la compañía en América Latina: el *Guadalajara Design Center* (GDC), fundado en el año 2000. El enfoque principal de este centro es el diseño de semiconductores en campos que abarcan el desarrollo y validación de plataformas, de servidores y memoria de próxima generación, así como la investigación avanzada en sistemas autónomos, neuromórficos y computación cuántica.

<https://www.intel.la/content/www/xl/es/homepage.html>

Skyworks

Skyworks Solutions, Inc. es una empresa estadounidense de semiconductores con sede en California, Estados Unidos. La empresa se organiza con una estructura integrada, y se formó como resultado de la fusión de *Alpha Industries* y la división de comunicaciones inalámbricas de *Conexant*, que entró en vigor el 26 de junio de 2002. Skyworks fabrica semiconductores para uso en radiofrecuencia y sistemas de comunicaciones móviles. Sus productos incluyen amplificadores de potencia, módulos frontales y productos de RF para teléfonos móviles y equipos de infraestructura inalámbrica.

Esta IDM divide sus actividades en América del Norte, Europa y Asia. En México, la empresa realiza actividades de *backend*.

<https://www.skyworksinc.com/>

Texas Instruments

Texas Instruments, o sencillamente TI, es una empresa integrada (IDM) de origen estadounidense. Es una evolución de la empresa Geophysical Service Incorporated-GSI, fundada en 1941 para proveer servicios petroleros y que luego se volcó hacia la electrónica. En 1951 toma su nombre actual, y fue partícipe de la creación del circuito integrado en los años '50, atribuido a Jack Kilby de TI y Robert Noyce de *Fairchild Semiconductor*.

Actualmente, TI desarrolla y comercializa semiconductores y tecnología para ordenadores. TI es el tercer mayor fabricante de semiconductores del mundo tras Intel y Samsung. Es el mayor productor de procesadores digitales de señal y semiconductores analógicos. Otras áreas de actividad incluyen circuitos integrados para módems de banda ancha, periféricos para ordenadores, dispositivos digitales de consumo y RFID.

En México, Texas Instruments realiza actividades del eslabón de *backend* en Aguascalientes.

<https://www.ti.com/>

Infineon

Infineon Technologies AG es una empresa integrada (IDM) de semiconductores con sede en Alemania. Se trata de un *spin off* del grupo tecnológico *Siemens*, y es considerada una de las principales empresas abastecedoras de semiconductores para automóviles, así como el segundo fabricante europeo de chips. Más allá de esta vinculación al sector automotriz, donde la cartera de productos incluye microcontroladores, semiconductores de potencia y sensores, la empresa tiene otras tres divisiones: el control de potencia industrial, sistemas de alimentación y sensores (vinculado al IoT), y soluciones de seguridad digital (presentes en tarjetas SIM para telefonía móvil o los chips presentes en cédulas de identificación y pasaportes).

En México, *Infineon* realiza actividades de *backend* en Tijuana.

<https://www.infineon.com/>

Qualcomm

Qualcomm es la *fabless* más grande del mundo. La empresa estadounidense, fundada en 1985, se especializa en chips de conectividad inalámbrica y son los propietarios y creadores de la tecnología CDMA y W-CDMA, que son la base del 3G y están presentes en casi cualquier dispositivo de conectividad inalámbrica. De esta forma, aproximadamente un 20% de los ingresos de la compañía proviene de patentes por el uso de sus licencias.

En México, *Qualcomm* solo tiene actividades de representación en Ciudad de México.

<https://www.qualcomm.com/>

Flex

Flex Ltd. (conocida también por su nombre anterior, *Flextronics International Ltd.*) es una empresa estadounidense fundada en Singapur en 1969, que actualmente tiene su casa central en el Silicon Valley en California. A nivel global, según sus ingresos, es la tercera empresa de servicios de manufactura electrónica (EMS). Como tal, son grandes consumidores de semiconductores, pero son los clientes para los cuales realizan la manufactura quienes determinan las especificaciones y fuentes de abasto.

Flex tiene operaciones de manufactura en más de 40 países alrededor del mundo. Uno de ellos es México, donde poseen siete ubicaciones y más de 38 mil empleados.

<https://origin-sc.flex.com/>

Foxconn

Foxconn (Hon Hai Precision Industry Co., Ltd.) es el mayor contratista de manufactura del sector electrónico del mundo. Esta empresa taiwanesa fue fundada en 1974, y hoy cuenta entre sus clientes empresas como *Acer, Amazon, Apple, Cisco, Dell, Sony, Nintendo, Google, Microsoft*, entre otros.

En México tienen 25 mil empleados, distribuidos en siete compañías con razón social distinta, ubicadas en Tijuana, Chihuahua, Baja California y Jalisco (Guadalajara).

IBM

International Business Machines Corporation (IBM) es una empresa estadounidense con más de 100 años en la industria de la tecnología. Involucrada en una gran cantidad de verticales y en evolución permanente, es la segunda empresa con mayor cantidad de empleados del mundo, solo superada por *Walmart*.

IBM México es la planta de manufactura más grande del grupo a nivel global. La planta produce y exporta todas las soluciones de *hardware: mainframe, cognitive systems (IA), storage (high storage y cloud, híbridas) y appliances (cibersecurity)*. Son la única site que hace el ensamble en las 4 soluciones.

<https://www.ibm.com/>

Jabil

Jabil Inc. es otra de las grandes empresas de manufactura de electrónica (EMS), de origen estadounidense y fundada en 1966. Los clientes de Jabil abarcan numerosas industrias, incluidas la atención médica, la defensa, la industria aeroespacial, la automotriz, la informática, el almacenamiento, los productos de consumo, las redes y las telecomunicaciones. Sus servicios incluyen servicios de ingeniería de diseño, fabricación y cadena de suministro para las industrias de consumo y EMS; y servicios de tecnología de materiales (plásticos, metales, automatización y utillaje).

Jabil tiene 100 plantas distribuidas en 30 países, con más de 260 mil empleados. En México, tiene plantas en Tijuana, Chihuahua, Monterrey y Guadalajara, donde emplean entre 25 y 30 mil recursos.

<https://www.jabil.com/>

Crestron

Crestron Electronics es una corporación multinacional privada estadounidense fundada en 1972 y dedicada a la fabricación y distribución de equipos de integración y automatización audiovisual. La empresa diseña, fabrica y distribuye equipos utilizados para controlar la tecnología en entornos audiovisuales comerciales, como espacios de reunión, salas de conferencias, aulas y auditorios. La empresa no vende sus productos directamente, sino que utiliza una red de distribuidores e integradores para vender productos a los usuarios finales.

Crestron tiene oficinas en 70 países, incluido México.

<https://www.crestron.com/>

Stellantis

Stellantis N.V. es un grupo automovilístico internacional ítalo-franco-estadounidense con sede en Países Bajos. Nace en 2021, fruto de la fusión entre iguales del ítalo-estadounidense *Fiat Chrysler Automobiles* y el francés *Groupe PSA*. El grupo explota y comercializa las marcas Fiat, Alfa Romeo, Lancia, Maserati y Abarth de FCA Italy, Jeep, Chrysler, Dodge y RAM de FCA US, y Peugeot, Citroën, DS, Opel y Vauxhall del Groupe PSA.

<https://www.stellantis.com/en>

Ford

Ford Motor Company es una empresa multinacional de origen estadounidense, especializada en la industria automotriz. Con su sede central ubicada en Dearborn, Estado de Michigan, la empresa se expandió a nivel mundial destacándose principalmente por la producción de automóviles, vehículos comerciales y automóviles de carreras. La compañía tiene presencia a nivel mundial, gracias a sus filiales ubicadas en Alemania, Argentina, Canadá, Chile, España, India, México, Reino Unido y Tailandia, entre otros.

<http://www.ford.com/>

