



Cadena de Valor de Semiconductores:

Estructura y perspectivas de cara al nuevo escenario global

Agustín Filippo
Carlos Guaipatín
Lucas Navarro
Federico Wyss

Marzo de 2022

Cadena de Valor de Semiconductores:

Estructura y perspectivas de
cara al nuevo escenario global

Marzo 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**

Cadena de valor de semiconductores: estructura y perspectivas de cara al nuevo escenario global /
Agustín Filippo, Carlos Guaipatin, Lucas Navarro, Federico Wyss.

p. cm. — (Monografía del BID ; 1016)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Integrated circuit layout-Mexico. 2. Mexico-Commerce. 3. Industries-Mexico. 4. International economic relations. 5. International economic integration. I. Filippo, Agustín. II. Guaipatin, 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-1016

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-1016

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

Tabla de contenido	i
Presentación del estudio	1
Resumen Ejecutivo	3
Parte 1. La Cadena de Valor de los Semiconductores	18
Introducción	19
¿Qué es un semiconductor?	21
BOX 1. Semiconductores para automóviles	24
La Cadena de Valor y los Modelos de Negocios	25
Mapeo de la cadena: eslabones y proveedores	30
Investigación Pre-Competitiva	31
Diseño	32
Software: Electronic Design Automation (EDA)	33
Propiedad Intelectual (IP)	34
Fabricación (<i>Frontend</i>)	34
BOX 2. Cómo se produce un semiconductor: un proceso complejo a nivel atómico	36
Ensamblaje (<i>Backend</i>)	38
Equipamiento para producción de wafers y testeo	38
Materiales	40
Wafers “crudos”	40
Productos químicos	40
La cadena, desde una perspectiva geográfica: especialización y dependencia	42
Estados Unidos	44
Corea del Sur	44
Europa	44

Taiwán	44
Japón	44
China	45
América Latina	45
Parte 2. Desafíos actuales y respuestas de política	46
Introducción	47
Tecnologías y estrategias de producción en un sector complejo	49
Evolución reciente y crisis en un sector clave	53
BOX 3. Drivers del aumento en la demanda de semiconductores y perspectivas	59
Crisis de abastecimiento: ¿cuáles son las alertas?	61
BOX 4. Impacto de la crisis de abastecimiento en el sector automotriz	63
BOX 5. La distribución de la capacidad de producción en el tiempo y la cuestión geopolítica	65
Incentivos de política pública para el sector	67
China	68
Estados Unidos	69
Taiwán	70
Europa (UE)	71
Corea del Sur	72
India	73
Malasia	73
Singapur	74
Israel	75
Resumen e implicancias	75
Conclusiones	78

Bibliografía	82
---------------------	-----------

Apéndice 1. Tecnologías de la cadena de semiconductores: Descripción y mercados	85
--	-----------

Tarjetas Lógicas: arquitecturas de procesamiento	85
X86: ordenadores y servidores	85
ARM: teléfonos móviles	86
ASICs: machine learning e inteligencia artificial	86
Tarjetas de Memoria	86
DRAM: Memoria de “corto plazo”	87
NAND: Memoria de “largo plazo”	87
Componentes Analógicos: el vínculo con el mundo físico	88

Apéndice 2. El rol de la política pública en la cadena de los semiconductores	89
--	-----------

Potenciación de Inversiones	90
Fomento de la Investigación de Desarrollo	90
Fomento de la Inversión Física	91
Herramientas de política	93
La importancia de las reglas de comercio	95
Desarrollo de Capital Humano	96

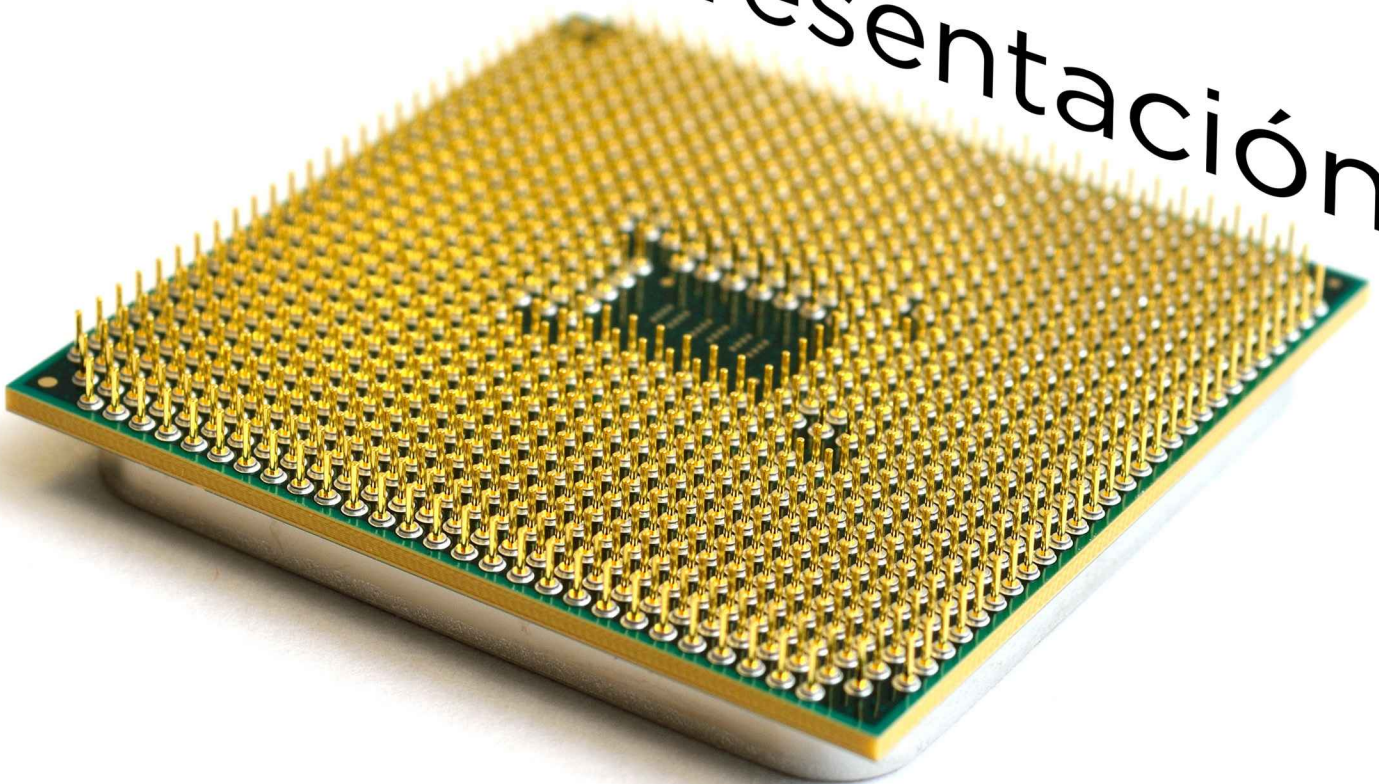
Índice de Figuras

Figura 1. Clasificación de componentes electrónicos	22
Figura 2. Composición de las ventas de semiconductores según tecnología y mercado destino (2019).	23
Figura 3. Etapas del proceso productivo de un semiconductor y modelos de negocio	26
Figura 4. Participación de los modelos de negocios por segmento tecnológico, porcentajes del total de la industria (2019)	29
Figura 5. La cadena de valor de los semiconductores	30
Figura 6. Tamaño del mercado para equipamiento de la cadena de semiconductores, según función (2019, en miles de millones de dólares)	39
Figura 7. Tamaño de mercado para materiales de la cadena de semiconductores (2019, en miles de millones de dólares)	41
Figura 8. Especialización geográfica de la cadena, según valor agregado (2019)	43
Figura 9. Capacidad instalada de producción, según nodo tecnológico y tipo de semiconductor (2019)	51
Figura 10. Ventas globales de semiconductores (en miles de millones de dólares)	53
Figura 11. Embarques globales de semiconductores (en miles de millones)	54
Figura 12. Evolución de la utilización de la capacidad de la industria (2019-2021)	55
Figura 13. Gasto de capital en la industria global de semiconductores (en miles de millones de dólares)	57
Figura 14. Estándares de fabricación de la industria (tamaño en nanómetros de los nodos de procesamiento)	64

Índice de Tablas

Tabla1. Indicadores financieros por modelo de negocio (porcentaje de los ingresos anuales entre 2016 y 2019)	27
Tabla 2. Gastos estimados en I+D y Capital por segmento de la cadena global de valor de los semiconductores (2019, en miles de millones de dólares)	31
Tabla 3. Resumen de las respuestas de política anunciadas ante la crisis de abastecimiento	76
Tabla 4. Incentivos gubernamentales en diferentes localizaciones (en % del costo total de propiedad, primeros diez años de operación)	92
Tabla 5. Incentivos fiscales: subsidios vs. incentivos tributarios	94

Presentación



Presentación del estudio

Factores externos están causando disrupciones en la cadena de suministros de semiconductores a nivel global comprometiendo la competitividad de sectores intensivos en tecnología, algunos de ellos, como el automotriz, estratégicos para las economías de México y de Estados Unidos. Como respuesta, empresas del sector están analizando la relocalización de sus eslabones para salvaguardar su competitividad, y los gobiernos de los principales países involucrados con la cadena vienen anunciando cuantiosos mecanismos de incentivos para atraer inversiones al sector, tratando el tema como uno de seguridad nacional.

La cadena de semiconductores está compuesta de segmentos que demandan distintos niveles de disponibilidad e inversión en capital, I+D y talento. Por tanto, apoyar su desarrollo desde la política pública implica estrategias diferentes dependiendo de la posición del país en la cadena y de sus condiciones.

México tiene oportunidades para insertarse de mejor manera en la cadena global de valor de semiconductores: cercanía geográfica con Estados Unidos, demanda importante de sectores competitivos (electrónicos, automóviles, y equipamiento médico, entre otros) y presencia de empresas que ocupan algunos segmentos estratégicos de la cadena. Se trata de un juego complejo, de apuestas elevadas, que requiere coordinación sofisticada a distintos niveles (privada-privada, público-privada y dentro del sector público), y donde, dada la creciente importancia de la tecnología en las economías, la discusión no está en si jugar o no, sino en cómo hacerlo.¹

Como primera etapa de una agenda que se enfocará en México, este documento presenta una descripción de la cadena global de valor de los semiconductores, los problemas de abastecimiento que enfrenta actualmente y las respuestas de política de los principales países de la cadena, con el fin de contribuir a entender su complejidad y de poder contar con antecedentes sobre los eslabones en donde existe una oportunidad de desarrollo para las empresas mexicanas.

El trabajo se estructura en dos partes, la primera realiza un mapeo de la cadena global de valor de semiconductores, en tanto que la segunda presenta los desafíos actuales que enfrenta la cadena, ante la crisis de abastecimiento actual, y las respuestas de política de los principales países que la integran.

¹ Esa coordinación dentro del sector público es compleja. En el caso particular de México, ella se debiera dar al nivel de las secretarías de Economía y Hacienda, con INAOE y otras dependencias del Conacyt, las agencias a cargo de la capacitación laboral, entre el nivel federal y los estados interesados en recibir inversiones.

Resumen Ejecutivo

Resumen Ejecutivo

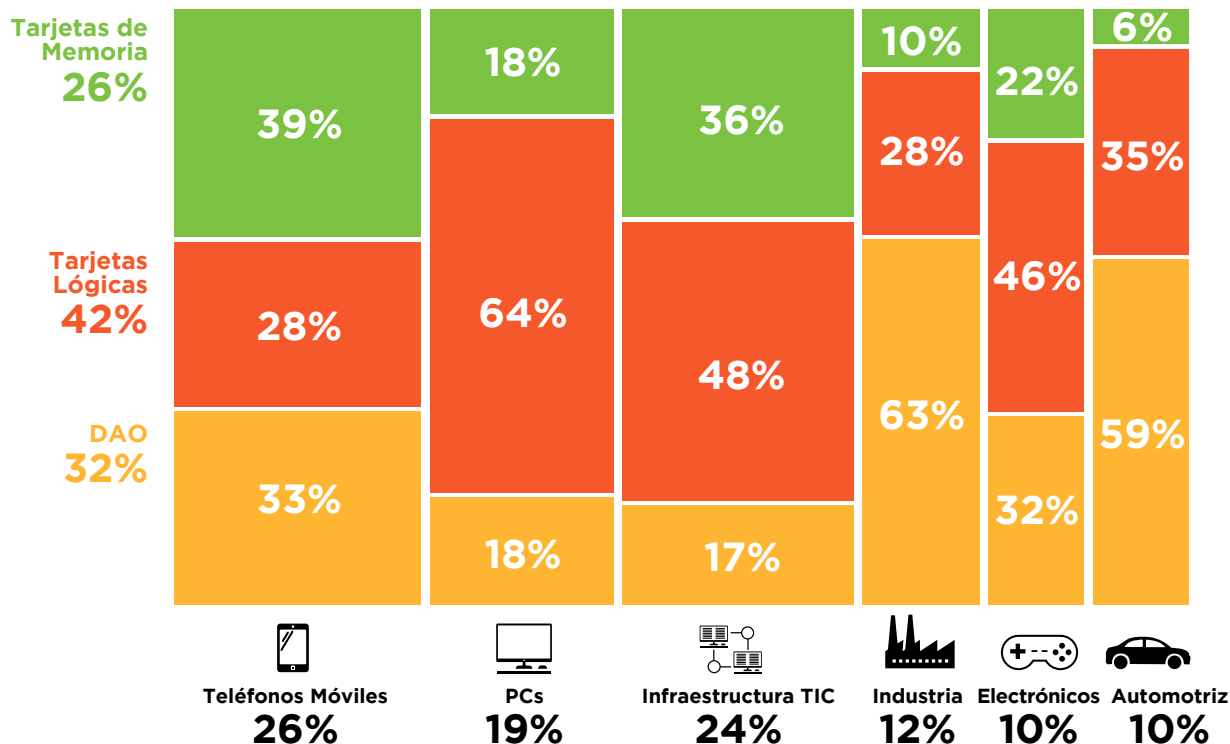
PARTE 1. LA CADENA DE VALOR DE LOS SEMICONDUCTORES

¿Qué es un semiconductor? Definiciones, taxonomía y mercados destino

- Los chips o semiconductores se refieren a pequeñas plaquetas de materiales semiconductores (como el silicio) en las cuales se incrustan circuitos que finalmente terminan dando lugar a distintos tipos de funciones de la más variada gama de dispositivos electrónicos.
- Los semiconductores representan una pieza clave tanto por su influencia en el crecimiento económico reciente y futuro, habilitando el cambio tecnológico, como en la seguridad nacional de los países, lo cual explica por qué ciertos países quieren tener un rol relevante dentro de la cadena.
- Dentro de los semiconductores, los circuitos integrados (IC, por sus siglas en inglés) son el principal segmento en términos de impacto y relevancia económica; estos circuitos son el foco de análisis de este estudio.
- Si bien existe varias formas de clasificar a los semiconductores, se pueden considerar tres grandes grupos:
 - ▶ **Dispositivos de memoria.** Son circuitos integrados digitales que almacenan información necesaria para desempeñar cualquier tarea computacional. Incluye principalmente a las memorias DRAM (corto plazo) y a las NAND (discos de almacenamiento de largo plazo).
 - ▶ **Dispositivos lógicos.** Este grupo de circuitos integrados digitales es entendido como el “cerebro” de las computadoras y otros dispositivos, son las unidades de procesamiento de computadores y móviles.
 - ▶ **Discretos, Analógicos y Otros (DAO).** Agrupa a los restantes semiconductores, asociados a tecnologías menos complejas que las de los dispositivos digitales y, por tanto, niveles de inversión mucho menores. Incluyen circuitos integrados analógicos, dispositivos discretos (transistores, diodos), y otros dispositivos como los optoelectrónicos y los sensores, entre otros.

• La Figura de abajo muestra la composición de las ventas globales de semiconductores según los tres tipos principales de tecnologías y mercados de destino, a partir de cifras de 2019, año en que las ventas globales fueron de USD 412 mil millones. Las tarjetas lógicas representan el 42% del mercado, las lógicas un 26% y las DAO tienen el 32% restante del mercado.

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)

• Al considerar el mercado por aplicación, el 26% de los chips se destinan a celulares, 19% están en computadores, 10% en aparatos electrónicos, 10% en automóviles, y el resto de la demanda va a infraestructura de ICT, servidores y centros de datos. Como puede verse en la gráfica, todas las aplicaciones listadas utilizan, en diferente medida, los tres tipos de semiconductores considerados.

Cadena de Valor y Modelos de Negocio

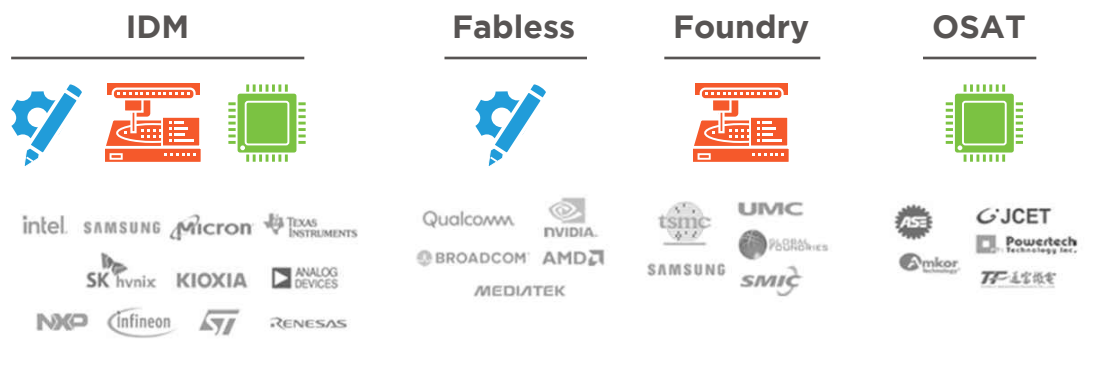
• Tal como se muestra en la Figura a continuación, el proceso productivo de un semiconductor se puede resumir en tres partes principales: Diseño, Fabricación (conocido como *Frontend*) y Ensamblaje-Testeo (conocido como *Backend*).

Etapas del proceso productivo de un semiconductor y modelos de negocio

Eslabones de la Cadena Productiva



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)

- El cómo se aborden estas etapas determina el modelo de negocio de las compañías, las cuales pueden realizar el proceso completo de manera integrada, o bien especializarse en solo uno de los eslabones.
- Actualmente, si bien quedan pocas empresas completamente integradas (*IDMs*, *Integrated Device Manufacturers*), estas son de gran tamaño y explican de manera conjunta aproximadamente dos tercios de la capacidad productiva global, con operaciones dispersas en distintos puntos geográficos, y más del 70% de las ventas.
- Por otro lado, empresas más jóvenes han tendido a especializarse en solo uno de los eslabones. La figura de arriba presenta ejemplos de empresas IDM y en cada uno de los tres modelos de negocio de especialización, que son los siguientes:
 - **Fabless**, son empresas especializadas en el eslabón de diseño (conocimiento-intensivo, con alta inversión en I+D), que delegan la producción física a las *Foundries*.
 - **Foundry**, son empresas especializadas en la etapa de fabricación, *frontend* (capital-intensivo, con alta inversión física). Estas empresas toman los diseños de las *Fabless*

o *IDMs* que tercerizan su fabricación, por lo que, al no poseer diseños propios, no participan en la venta a integradores.

- *OSAT* (*outsourced semiconductor assembly and test*), son empresas especializadas en la etapa de ensamblaje y testeo, *backend* (trabajo-intensivo, con menores márgenes). De la misma manera que el modelo anterior, no participan en la estadística de venta. Por ser trabajo-intensivas, requieren de un nivel de inversión significativamente menor, a pesar de que recientemente se ha aumentado la participación de los costos de capital en ventas.

- La Tabla de abajo muestra las erogaciones en I+D y capital físico (Capex) como proporción de ventas para los distintos modelos de negocio. Se puede apreciar la intensidad en I+D propia del modelo *Fabless*, mientras que las *Foundries* tienen mayor intensidad en capital.

Indicadores financieros por modelo de negocio (porcentaje de los ingresos anuales entre 2016 y 2019)

Indicador	IDMs	<i>Fabless</i>	<i>Foundries</i>	<i>OSATs</i>
I+D	14%	20%	9%	4%
Capex	20%	4%	34%	16%

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

Mapeo de la cadena: eslabones y proveedores

- A los tres eslabones mencionados de la cadena de valor de los semiconductores (diseño, fabricación y ensamblaje), puede agregarse una etapa transversal, que es la fase de **investigación precompetitiva**.
- A su vez, existen sectores que abastecen a los eslabones, muchas veces de manera casi exclusiva. Específicamente, el eslabón de Diseño depende de la provisión del sector de **Software** o *Electronic Design Automation (EDA)* y el de **Propiedad Intelectual (IP)**.
- Por su parte, los eslabones de fabricación y ensamblaje requieren **equipamiento** específico y **materiales químicos**, al tiempo que el eslabón de fabricación demanda específicamente las **obleas “crudas”** de material semiconductor o *wafers*.

La cadena de valor de los semiconductores



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

- La Tabla que sigue muestra qué proporción de las erogaciones de I+D y Capex de la industria a nivel agregado es realizada por cada uno de los segmentos de la cadena.
- La cadena tiene la particularidad de invertir, de manera global, casi tanto en I+D como en capital físico.
- En línea con los datos de indicadores financieros según modelo de negocio ya presentados, el gasto en I+D se da mayormente en el eslabón de Diseño (con fuerte presencia de las *Fabless*) y el mayor gasto en capital físico se da a nivel *Frontend* (en donde se encuentran las *Foundries*).

Gastos estimados en I+D y Capital por segmento de la cadena global de valor de los semiconductores (2019) en miles de millones de dólares

Indicador	Investigación Precompetitiva	Diseño	EDA e IP	Fabricación (Frontend)	Ensamblaje (Backend)	Equipamiento	Materiales	Total
I+D	USD 17 18%	USD 49 53%	USD 3 3%	USD 12 13%	USD 3 3%	USD 8 9%	USD 1 1%	USD 92 100%
Capex		USD 14 13%	USD 1 1%	USD 69 64%	USD 14 13%	USD 3 3%	USD 6 6%	USD 108 100%

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

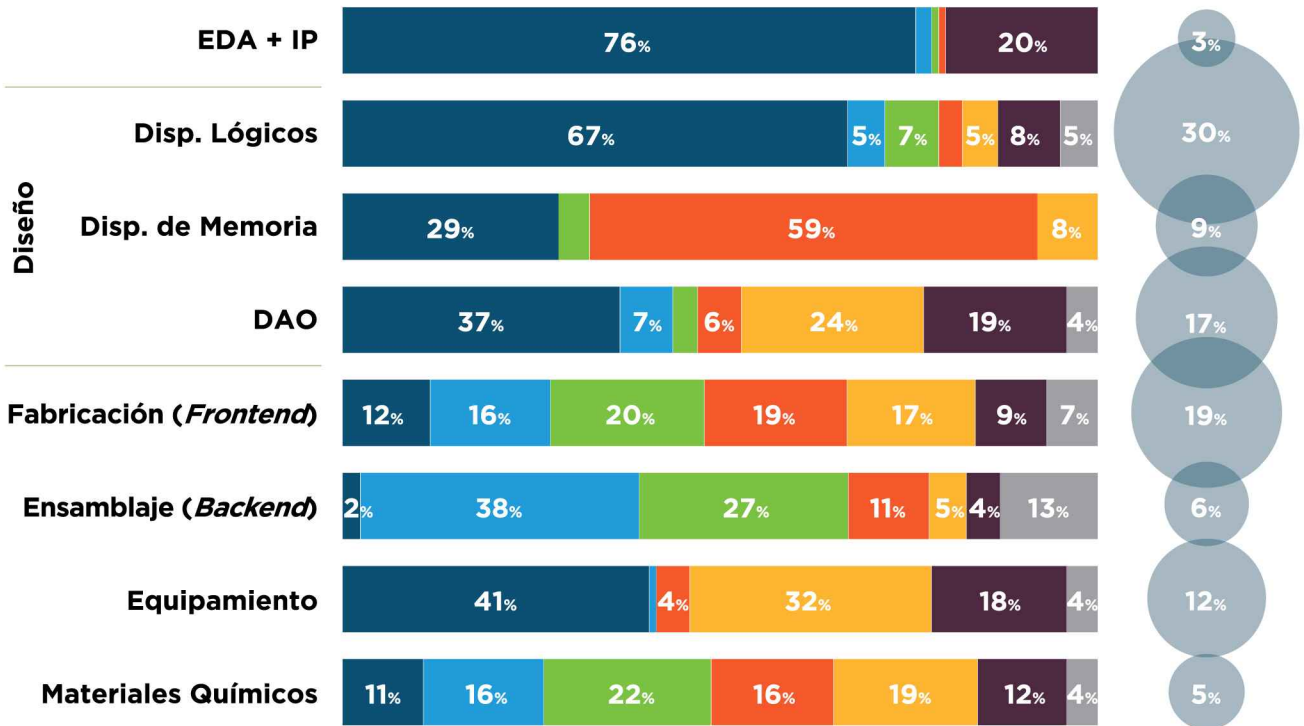
Mapeo de la cadena: eslabones y proveedores

- Se trata de una cadena de valor de alta concentración en los segmentos más sofisticados, aunque con bastante dispersión geográfica, donde cada zona se ha ido especializando en ciertos eslabones de la cadena, de acuerdo a ventajas comparativas.
- Si bien los países más desarrollados dominan la producción, algunos países emergentes también tienen participación en la cadena.
- Dada la alta especialización geográfica por eslabones, en la actualidad ningún país cuenta con la capacidad de autoabastecimiento.
- Este rasgo hace que la cadena sea muy colaborativa, pero también muy expuesta a disrupciones causadas por tensiones comerciales y diplomáticas entre los países y diversos factores exógenos, como ocurre desde el inicio de la pandemia.
- La Figura de abajo muestra la distribución geográfica del valor agregado global de la industria, según los distintos eslabones que la conforman.
- Por el lado de la producción, Estados Unidos es claro dominante, contribuyendo a casi el 40% del valor agregado global de la industria. Ese liderazgo se debe a un efecto de composición; tal como se aprecia en la gráfica, casi la mitad del valor agregado de toda la cadena se genera en las etapas de Diseño, en donde las compañías de Estados Unidos tienen la mayor participación del mercado.

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

Valor agregado por segmento de la cadena

Valor sobre total cadena



CGV - Valor agregado y consumo



■ USA ■ China ■ Taiwán ■ Corea del Sur ■ Japón ■ Europa ■ Resto

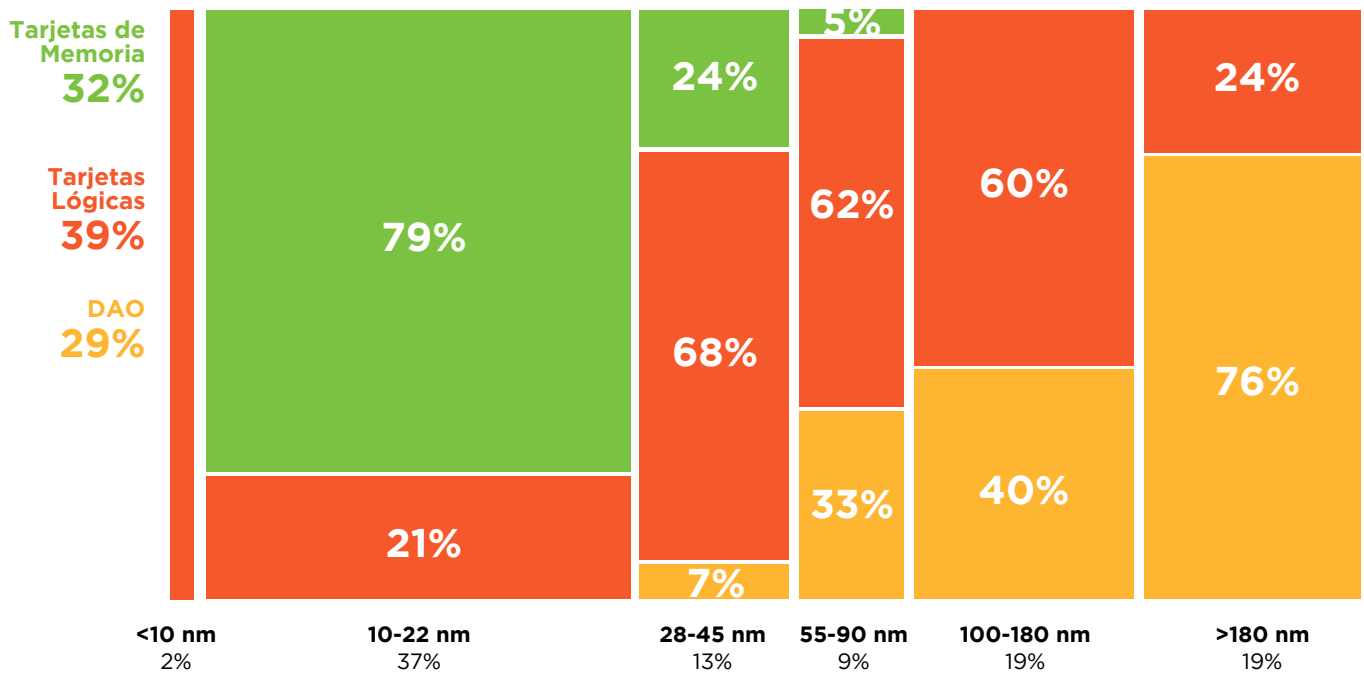
Fuente: Elaboración propia en base a Varas, *et al.* (2021)

PARTE 2. DESAFÍOS ACTUALES Y RESPUESTAS DE POLÍTICA

Tecnologías y estrategias de producción en un sector complejo

- Producir una oblea de semiconductores implica la repetición de cinco pasos genéricos por cientos de miles de veces. Esto puede llevar, dependiendo de la complejidad del circuito, entre 3 y 5 meses de trabajo hasta tener la oblea lista para ser cortada y enviada al eslabón de *backend*. Esta complejidad define el “estándar de fabricación”, también conocido como “nodo tecnológico” o “nodo de proceso”.
- El nodo tecnológico refiere a la densidad de transistores que entran en un chip, lo cual involucra también ciertas arquitecturas de diseño y generaciones de circuitos: mientras más pequeño el nodo, habrá transistores más pequeños, pero de mayor velocidad y eficiencia energética. Este estándar se mide en nanómetros (una milésima parte de un metro) y se refiere al tamaño mínimo de los componentes del chip.
- La Ley de Moore predice que el número de transistores en chips lógicos se debería duplicar cada aproximadamente 2 años. Este patrón empírico se ha venido cumpliendo en el tiempo, conllevando que la tecnología más avanzada en la actualidad sea la de nodos de 3 nm, estándar alcanzado, hasta ahora, solo por la taiwanesa TSMC, pero que todavía no ha salido a mercado.
- Este ritmo de avance tecnológico hace que los equipos de producción de punta tengan una vida útil de aproximadamente 5 años, en algunas aplicaciones dominadas por la performance del dispositivo, antes de quedar obsoletos frente al nuevo estándar más avanzado de la industria. Existen, por otra parte, aplicaciones donde predomina la estabilidad, sin embargo, donde las soluciones tecnológicas son más duraderas.
- En general, un equipo diseñado para la producción de frontera puede ser técnicamente capaz de producir chips de estándares previos, pero los equipos “viejos” no pueden producir los chips de frontera. Ello no implica sin embargo que sea económicamente rentable a precios actuales la producción de chips en equipos que sean optimizados para ello.
- En la Figura siguiente se observa que en 2019 sólo el 2% de la capacidad instalada de la industria se destina a chips de menos de 10 nm, y que esa tecnología se utiliza solamente en dispositivos lógicos. La mayoría de los chips de memoria, por su parte, son de entre 10 y 22 nm. Los dispositivos discretos, analógicos y otros (DAO), al ser menos complejos, abarcan la mayor parte de la capacidad instalada para nodos de más de 180 nm.

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



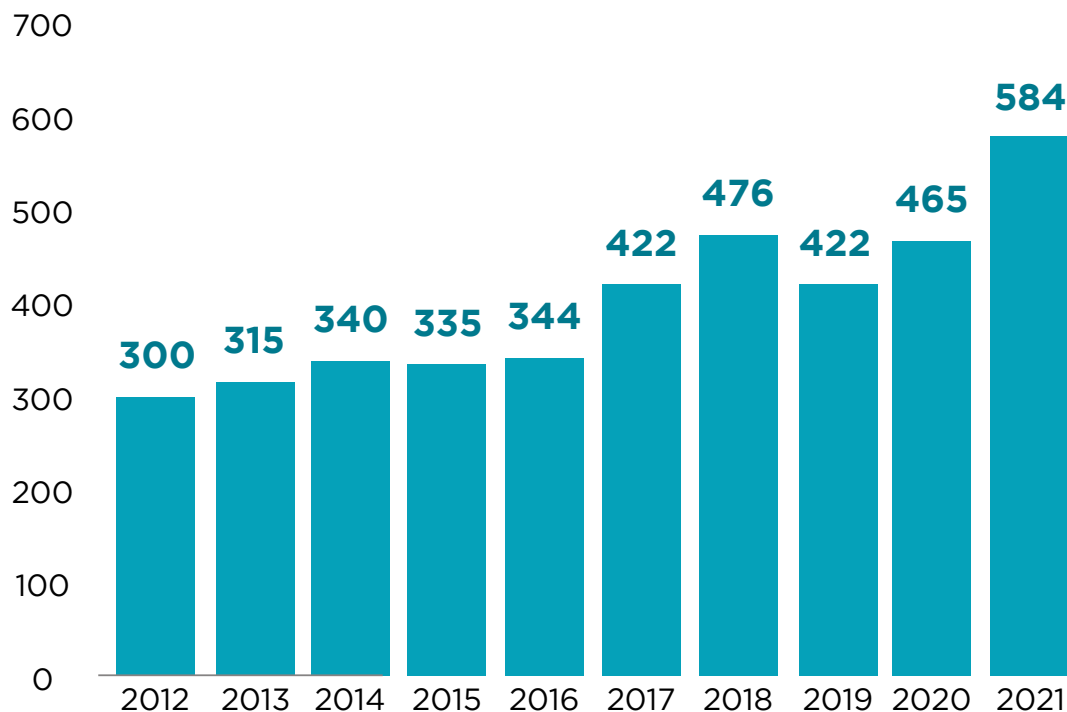
Fuente: Elaboración propia en base a Varas, et al. (2021)

- Según diversas fuentes consultadas, la actual crisis de abastecimiento parece estar principalmente en los nodos de más de 180 nm, en particular en los DAO, lo cual puede indicar que la producción de la industria fue dirigida hacia otros chips, como los lógicos, que compiten con los DAO en el uso de la capacidad para los nodos de más de 180 nm.

Evolución reciente y crisis en un sector clave

- De la mano de la expansión masiva en el acceso de la población a nuevas tecnologías, el crecimiento del sector de los semiconductores ha sido notable durante las últimas tres décadas, incrementando su relevancia para la economía global.
- Entre 2012 y 2020, las ventas mundiales de semiconductores, pasaron de USD 300 mil millones a más de USD 465 mil millones, y tuvieron un crecimiento anual de más de 25% en 2021, superando los USD 583 mil millones. De acuerdo a WSTS (2021), el mercado global de semiconductores crecerá en 8,8% en 2022.

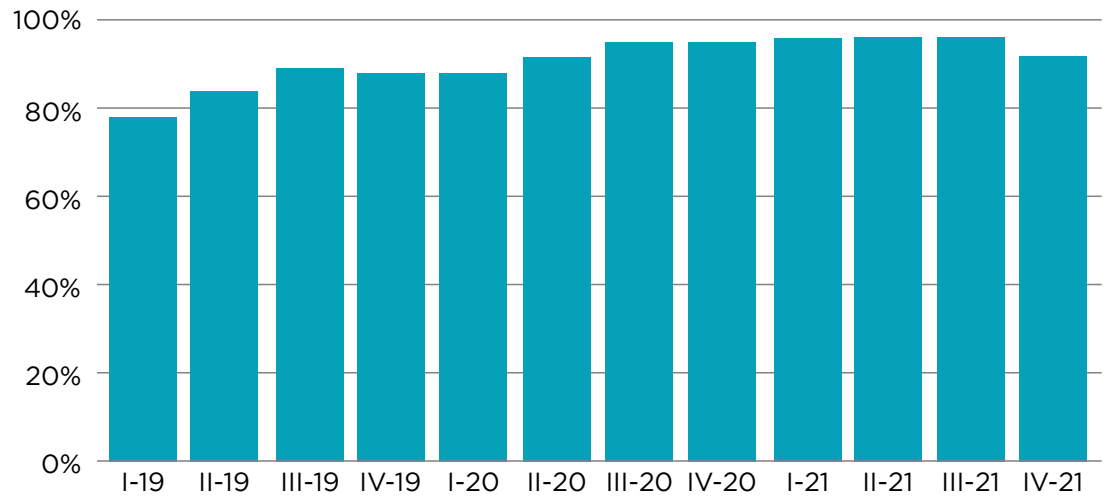
Ventas globales de semiconductores (en miles de millones de dólares)



Fuente: Elaboración propia en base a Gartner (2022)

- En los primeros meses tras el inicio de la pandemia del Covid-19, el sector de los semiconductores se vio afectado en la oferta, al igual que la mayoría de los sectores de la economía.
- Sin embargo, las soluciones que emergieron naturalmente ante el confinamiento ocasionado por la pandemia, como el teletrabajo y la teleeducación, dispararon la demanda global de dispositivos electrónicos, sobre todo en materia de computadores personales. Por su parte, contrariamente a las proyecciones, la demanda de automóviles se mantuvo sólida.
- Así, se llegó a un cuadro en el cual la demanda rápidamente superó a la capacidad de respuesta de la oferta, donde el cuello de botella fue puntualmente el eslabón de fabricación *frontend*, el cual demanda inversiones de gran cuantía con un plazo de operatividad no menor a dos años.
- La **respuesta inmediata** del sector fue llevar su uso de la capacidad instalada de valores en torno al 80% a valores muy cercanos al 100%. Vemos esto en la figura de abajo.

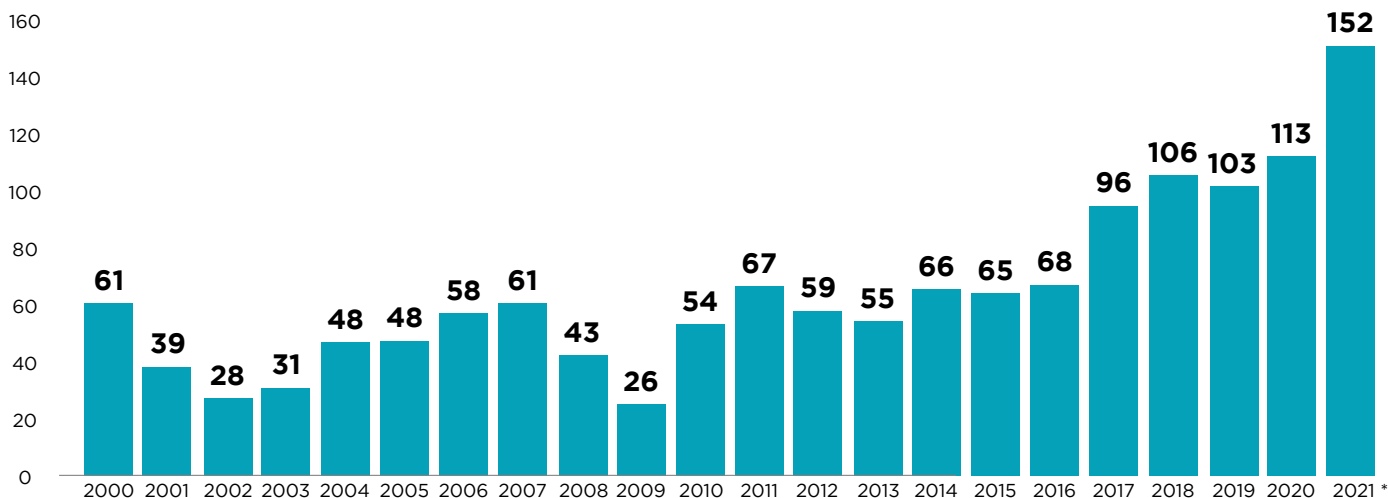
Evolución de la utilización de la capacidad de la industria (2019-2021)



Fuente: Extraído de SIA (2021)

- Este aumento de la utilización de la capacidad instalada se dio en paralelo con un escenario de redefiniciones de contratos por parte de los clientes.
- En los primeros meses de la pandemia, las empresas del sector automotriz, pronosticaron incorrectamente una fuerte caída de la demanda que las llevó a suspender órdenes de compra de semiconductores. Pero luego, con la demanda que se mantuvo firme, cuando esas empresas quisieron recuperar su cupo, se dio que el mismo ya había sido reasignado hacia los sectores IT, que enfrentaron un gran crecimiento de demanda.
- Por lo anterior, el tiempo promedio de entrega de semiconductores se duplicó, pasando de 13 semanas antes de la pandemia a un promedio de 26 semanas en diciembre de 2021.
- De cara al mediano plazo, la respuesta fue aumentar la inversión. Tal como se muestra en la Figura a continuación, con un incremento de 34% respecto al año previo, el gasto de capital para el 2021 habría llegado a los USD 152 mil millones (SIA, 2021), y se proyecta aún mayor en 2022.

Gasto de capital en la industria global de semiconductores (en miles de millones de dólares)



*Estimado.

Fuente: Gartner (2021)

- Un aspecto que llama la atención es que, mientras el desabastecimiento aparece más marcado en semiconductores de nodos de mayor tamaño, los anuncios de inversión de las empresas y los gobiernos están dirigidos hacia los estándares más avanzados.

- Esto sugiere un patrón de inversiones que no responde solamente al desabastecimiento, sino al quiebre en la estructura de la demanda (hacia componentes más avanzados tecnológicamente) que ha adelantado la pandemia.

- Ante esto, el faltante en nodos de más de 180 nm se resolvería una combinación de (1) mayor oferta proveniente de fábricas existentes, que hoy no se ocupan de esos semiconductores pero que se encuentran en las adyacencias, (2) nuevas fábricas para chips “grandes”, (3) cambios en la demanda que logren una adaptación hacia los chips genéricos, menos específicos y más flexibles, con mayor oferta futura.

- Para los gobiernos, los semiconductores no solo son una pieza clave de desarrollo, sino también -hoy más que nunca- un asunto de seguridad nacional.

Incentivos de política pública para el sector

- En tiempos recientes, y como reacción a la crisis y las tensiones geopolíticas, todos los países o regiones relevantes para la cadena anunciaron paquetes fiscales de estímulo al eslabón de fabricación.

- Con paquetes de diferentes dimensiones (ver Tabla a continuación), los países han coincidido en la entrega de estímulos fiscales (sea con subsidios y/o incentivos tributarios) para reducir el costo de las inversiones en capital físico propias del eslabón de fabricación, pero intentando cubrir también erogaciones en materia de I+D.

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	<ul style="list-style-type: none"> - Participación de capital - Incentivos tributarios - Otorgamiento de terrenos - Créditos subsidiados - Subsidio a la I+D 	Frontend y Diseño
Estados Unidos	USD 52	2026	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”.	Frontend y Diseño
Unión Europea	~ USD 30	2030	El paquete no está definido al momento de escribir este informe, pero se pretende subsidiar inversiones y generar espacios de coordinación.	Frontend y Diseño
Corea del Sur	USD 400*	2030	<ul style="list-style-type: none"> - Deducciones impositivas para I+D - Crédito subsidiado - Infraestructura 	Frontend y Diseño
India	USD 10		Cofinanciamiento de inversiones	Frontend

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

Fuente: Elaboración propia en base a diversas fuentes

- No obstante, el enfoque difiere bastante entre los países. Así, mientras Europa apunta a una visión aún integrada y resiliente de la cadena global de valor, China y Estados Unidos tienen propuestas fuertemente condicionadas por las tensiones geopolíticas reinantes, lo cual descuida el objetivo agregado de eficiencia y de la salud global de la cadena.

- Finalmente, algunos autores se muestran escépticos respecto del poder de fuego de estos paquetes, sobre todo al compararlo con las inversiones privadas proyectadas por las principales empresas en los próximos años, que alcanzan montos agregados muy superiores.
- Adicionalmente, tampoco resulta obvia la capacidad de los gobiernos de dirigir las inversiones del sector en un contexto de inminente disrupción tecnológica, considerando las demoras burocráticas para responder a una crisis que ya ha encontrado su situación de manera privada.
- En síntesis, la respuesta de política antes la crisis debe ser más que una mera reacción coyuntural, sino que debe conllevar un análisis de la situación actual y perspectivas futuras, a fin de lograr mejoras en la resiliencia de la cadena y la posición de cada país en ella.

PARTE 1

La Cadena de Valor de los Semiconductores

Introducción

La industria de los semiconductores tiene su origen a mediados de los años 50 en Estados Unidos (Power y Beyond, 2020), y se ha convertido en lo que muchos autores hoy denominan la “columna vertebral” de la economía mundial (Kleinhans y Baisakova, 2020). Actualmente los semiconductores son el cuarto producto más transado a nivel global y se espera que, hacia 2035, el volumen de comercio mundial de semiconductores sea 2,5 veces mayor al de 2020 (ASE, 2021).

Los semiconductores están presentes en casi cualquiera de los dispositivos que moldean nuestra vida diaria (electrodomésticos, vehículo, ordenadores, celulares), así como también son indispensables para la ejecución de las tecnologías que liderarán la senda de crecimiento del futuro inmediato (inteligencia artificial, internet de las cosas, computación cuántica, automóviles inteligentes, etc.).

Esta relevancia llevó a varios países dar un tratamiento de producto estratégico a los semiconductores, apuntando al desarrollo de capacidad productiva en sus territorios desde hace ya tiempo. Así, de acuerdo a ventajas comparativas y estrategias de política, la cadena de valor de los semiconductores es una de las más globalizadas que existe, pudiendo el producto poder pasar por tres continentes antes de ser integrado en el dispositivo electrónico que será entregado a los consumidores. Esto es posible, lógicamente, por la inherente característica de los semiconductores de poseer un elevado valor agregado por unidad de tamaño; un circuito de escasos milímetros cuadrados puede venderse a miles de dólares (Varas *et al.*, 2021).

Como se verá más adelante, esta globalización fue acompañada de un intenso proceso de especialización en los modelos de negocio de las empresas, lo cual fue acompañado de una concentración creciente en cada uno de los eslabones y sectores proveedores de la cadena.

Estos tres aspectos (globalización, especialización y concentración) hacen vulnerable a la cadena ante eventos climáticos o de otra índole, como lo que sucede actualmente desde el inicio de la pandemia. Asimismo, la cadena queda expuesta a tensiones políticas entre gobiernos o zonas geográficas.

Estas vulnerabilidades junto con la vertiginosa crecida de la demanda de semiconductores a nivel global (para uso privado, tecnología *blockchain*, etc.), llevaron a una fuerte insuficiencia de producción, que está complicando la competitividad de las industrias relacionadas. Debido a que los montajes de fábricas de esta índole pueden llevar años para estar completamente operativos, se espera que este déficit se mantenga, al menos hasta finales de 2023.

Ante acontecimientos como los que atraviesa actualmente el sector, tanto empresas como gobiernos han debido replantearse sobre la necesidad de dotar con mayor capacidad de adaptación, flexibilidad y resiliencia a la cadena, e incluso a apuntar a reducir su dispersión geográfica.

Con una fuerte industria automotriz y también de electrónicos, México se ha visto afectado por la escasez de semiconductores; según INEGI la producción mensual de autos tuvo en diciembre de 2021 una caída de 16,5% respecto a diciembre del año anterior y la producción acumulada en 2021 tuvo una disminución anual de 2%; parte de esta caída se debe a los problemas de abastecimiento mencionados (Banxico, 2021).

En un contexto marcado por la redefinición de la cadena global de valor de los semiconductores, por una industria nacional competitiva en algunos segmentos, que convive con una demanda local importante de sectores competitivos, y por perspectivas de crecimiento de la demanda de semiconductores en el mediano y largo plazo en las Américas, México podría tener un rol más sólido en la cadena a futuro.

El objetivo de este documento es describir la cadena y las tecnologías involucradas, para entregar un primer panorama para ir descifrando las oportunidades que puede tener México de insertarse con solidez en la cadena global.

Esta primera parte del trabajo se organiza de la siguiente manera. Primero, se define qué es un semiconductor, cuáles son sus variantes tecnológicas y cómo llegan a los dispositivos electrónicos que hacen a la cotidianeidad moderna. Luego se pasa a un análisis de los modelos de negocio vigentes a lo largo de la cadena, y posteriormente a un mapeo de la cadena a nivel global, eslabón por eslabón. El análisis se completa con una visión geográfica de la cadena y una revisión breve del rol de los principales países involucrados.

¿Qué es un semiconductor?

Los chips o semiconductores se refieren a pequeñas plaquetas de materiales semiconductores (como el silicio) en las cuales se incrustan circuitos que finalmente terminan dando lugar a distintos tipos de funciones de la más variada gama de dispositivos electrónicos. Es por ello que existen diversos tipos de semiconductores, que difieren según la función que desempeñan y la tecnología empleada.

La Figura 1 presenta una clasificación de los componentes electrónicos, según su capacidad de manejo de la energía eléctrica en Activos y Pasivos.² Los dispositivos pasivos tienen la característica de disipar o almacenar energía (en rigor, no poseen capacidad de semiconducción, pero pertenecen a la cadena como componentes), y se constituyen como productos simples de bajo valor relativo, en relación a los segmentos de los componentes activos.

Por su parte, los componentes activos no almacenan energía, sino que tienen la característica de poder controlar el flujo eléctrico. Éstos se subdividen en componentes discretos, que son los que permiten el ingreso y regulación energético a un circuito, y los circuitos integrados (IC, por sus siglas en inglés), que son el segmento semiconductor de mayor valor agregado. Esta categoría engloba a los circuitos digitales (donde se encuentran los dispositivos de memoria y lógicos/procesadores, que son los principales productos de la industria en término de valor agregado e impacto económico) y los analógicos. En el Apéndice 1 se presenta un mayor detalle sobre estos dos segmentos que, en definitiva, serán el foco del análisis en este documento.³

² Vale aclarar que se trata de una clasificación simplificada y de carácter referencial que sirve a los fines del análisis presentado a lo largo del documento. Una clasificación más técnica y acabada escapa a los objetivos del trabajo.

³ En este documento se utilizarán indistintamente los términos “semiconductor”, “chip” o “circuito”, a pesar de que en rigor revisten diferencias técnicas en su definición.

Figura 1. Clasificación de componentes electrónicos

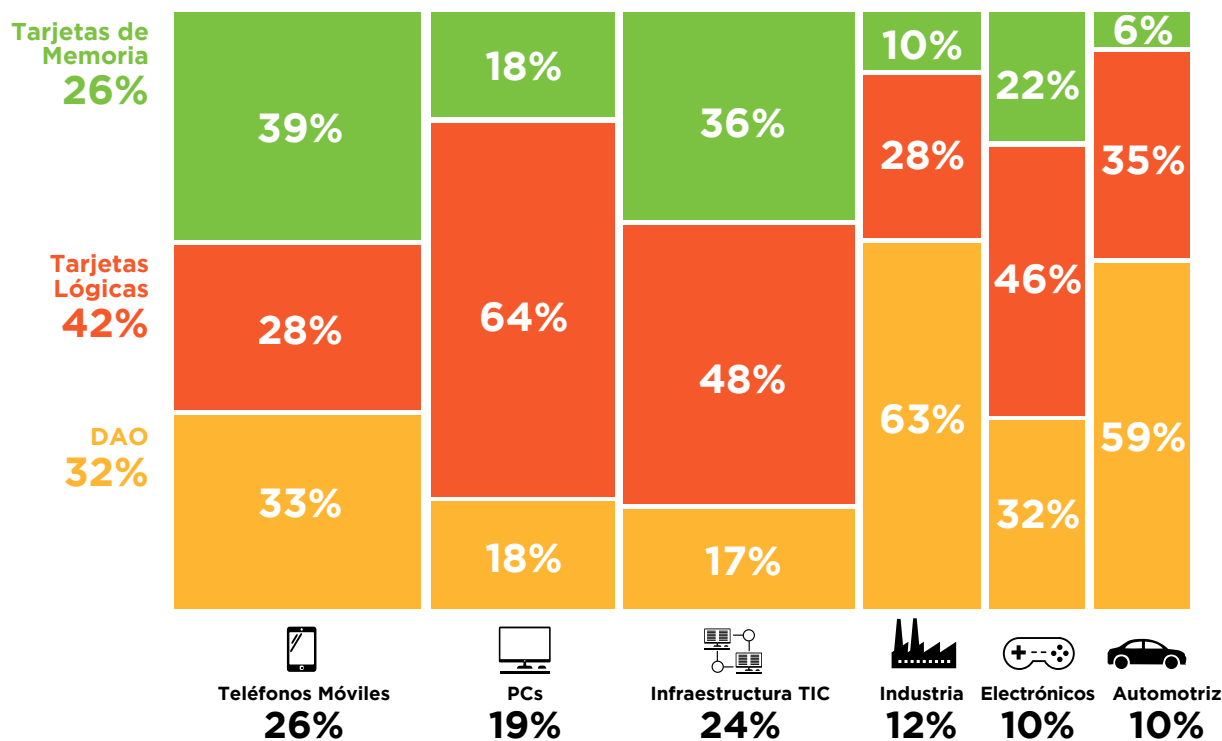
Fuente: Elaboración propia en base a Varas, et al. (2021), <https://blog.mide.com/how-electronic-components-work> y <http://www.electronicandy.com/blog/active-and-passive-electronic-components.html>

La Figura 2 muestra la composición de las ventas globales de semiconductores según los tres tipos principales de tecnologías y mercados de destino, a partir de cifras de 2019, año en que las ventas globales fueron de USD 412 mil millones.⁴ En la clasificación de la imagen, se focaliza en las dos principales tecnologías digitales (memoria y lógica), y se agrupa a los dispositivos analógicos con los discretos en una sola categoría (DAO).

Las tarjetas lógicas, con 42% del mercado, son entendidas como el “cerebro” de un computador y otros dispositivos, encargadas de ejecutar acciones computacionales complejas a través del procesamiento binario de instrucciones almacenadas en las tarjetas de memoria, las cuales representan el 26% del mercado. Con el 32% restante del mercado, las tarjetas discretas, analógicas y otras (DAO), por su parte, están diseñadas para interactuar con el mundo físico: estos semiconductores permiten realizar un gran espectro de tareas como captar señales de radio, cargar la batería del móvil, conducir un motor eléctrico, y hacer llamadas, entre muchas otras.

⁴ Por ser los de mayor relevancia, el análisis de la industria de semiconductores se concentra en los componentes electrónicos activos de la Figura 1.

Figura 2. 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)

Al considerar el mercado de semiconductores por aplicación, el 26% de los chips se destinan a celulares, 19% están en computadores, 10% en aparatos electrónicos, 10% en automóviles, y el resto de la demanda va a infraestructura de ICT, servidores y centros de datos. Como puede notarse en la Figura 2, dentro de cada aplicación, existe amplia heterogeneidad en la distribución del mercado según los tres tipos de tecnologías. Para el caso de la industria automotriz, por ejemplo, las tarjetas DAO son particularmente importantes, representando el 59% del mercado.

Tal como se detallará más adelante, además de ser una cadena de valor compleja, la industria de semiconductores se encuentra altamente concentrada tanto por el lado de la oferta como por el de la demanda. Diez empresas explicaron más de la mitad de las ventas globales de la cadena en 2020, entre las cuales se destacan Intel como la líder, seguida por jugadores de peso como *Taiwan Semiconductor Manufacturing Co. (TSMC)* y *Samsung*, entre otros (Xignite, 2021). Por el lado de la demanda, *Apple*, *Samsung*, *Huawei*, *Lenovo* y *Dell* concentraron la compra global de semiconductores en 2020 (Gartner, 2021).⁵

⁵ Al ser uno de los principales oferentes y también demandantes, el caso de Samsung refleja la situación de empresas que producen semiconductores para los dispositivos que se destinan al consumidor final.

BOX 1. Semiconductores para automóviles

Los chips para la industria automotriz son uno de los principales ejemplos de la “experiencia de campo” que demandan ciertas verticales de la cadena de semiconductores. Se trata de una vertical que demanda circuitos digitales (principalmente lógicos) y en mayor medida analógicos, pero adaptados a las tareas específicas que demandan los vehículos modernos (Figura 2).

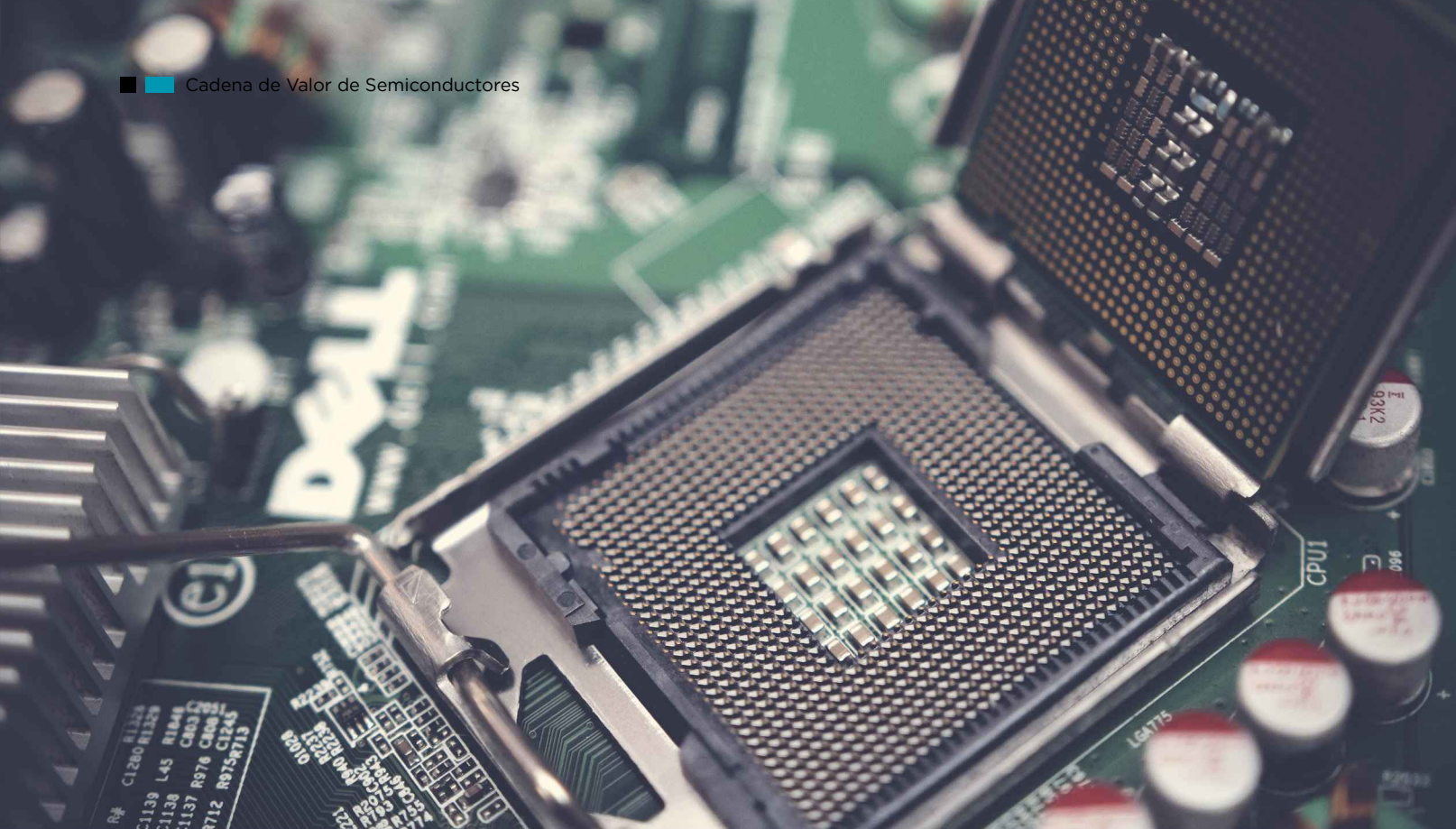
Dependiendo de su complejidad, un automóvil puede usar entre 500 y 1500 semiconductores, que controlan prácticamente todas las funciones de las unidades, desde los airbags hasta el motor (ASE, 2021). Según McKinsey (2017) la demanda global de semiconductores en automóviles se asigna a carrocería (24%), seguridad (24%), información de manejo (22%), motor (21%) y chasis (10%).

El caso de los vehículos automotores demanda especificidades tales como resistencia a un amplio rango de temperaturas y condiciones físicas del ambiente. A su vez, se trata de un sector algo reticente al cambio, tanto en lo tecnológico como en cuanto a proveedores.

Cinco empresas (*Infineon*, *NXP*, y *ST Micro* de Europa, *Renesas* de Japón, y *Texas Instruments* de Estados Unidos) abastecen a la mitad de la demanda del mercado mundial, siendo *Infineon* la líder con más de 13% del *market share global* en 2019 y 2020 (Infineon, 2021). El volumen de mercado global en 2020 fue de unos USD 35 mil millones.

El uso de componentes electrónicos en automóviles creció exponencialmente en el tiempo; en 1970 representaban sólo un 5% del valor de un automóvil, mientras que en 2020 ascendieron al 35%. Por otro lado, con esto también aumenta la necesidad de capacidades y calificaciones para reparaciones; los retornos a fábricas de los autos por fallas de los componentes electrónicos, pasó de 5% a la mitad de los casos entre 2011 y 2019 (Infineon, 2021).^a

^a El valor promedio del contenido de semiconductores varía según el tipo de automóvil; según Infineon (2016) dicho valor asciende a USD 352 en unidades con motores de combustión interna, mientras que en los autos híbridos y eléctricos es de USD 712 y 704, respectivamente.



La Cadena de Valor y los Modelos de Negocios

Más allá que la producción de un chip puede involucrar a una gran cantidad de empresas especializadas en más de 1,000 etapas y 70 cruces de fronteras,⁶ el proceso productivo de un semiconductor se puede resumir en tres partes principales: diseño, fabricación y ensamblaje (Figura 3).

El cómo se aborden estas etapas determina el modelo de negocio de las compañías, las cuales pueden realizar el proceso completo de manera integrada, o bien especializarse en solo uno de los eslabones. El crecimiento de la complejidad tecnológica del proceso hizo que la cadena avance de un modelo casi completamente integrado en sus inicios en los años '60, 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.

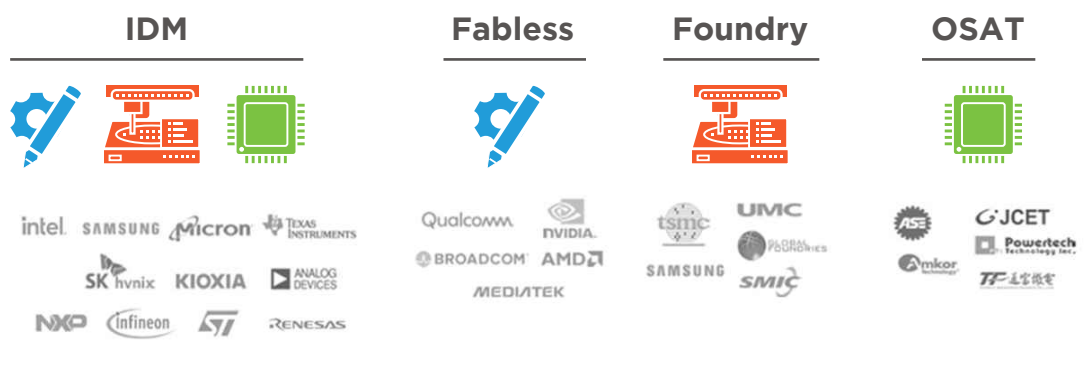
⁶ Ver <https://expansion.mx/empresas/2021/04/15/mexico-produccion-semiconductores-autos>

Figura 3. Etapas del proceso productivo de un semiconductor y modelos de negocio

Eslabones de la Cadena Productiva



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)

Actualmente, si bien quedan pocas empresas completamente integradas (*IDMs*, *Integrated Device Manufacturers*), estas son de gran tamaño y explican de manera conjunta aproximadamente dos tercios de la capacidad productiva global, con operaciones dispersas en distintos puntos geográficos. En efecto, la cadena global de semiconductores se distribuye geográficamente de acuerdo a ventajas comparativas de los territorios.⁷

Por otro lado, empresas más jóvenes han tendido a especializarse en solo uno de los eslabones. La Figura 3 presenta ejemplos de empresas IDM y en cada uno de los tres modelos de negocio de especialización, que son los siguientes:

- **Fabless**, son empresas especializadas en el eslabón de diseño (conocimiento-intensivo, con alta inversión en I+D), que delegan la producción física a las *Foundries*.
- **Foundry**, son empresas especializadas en la etapa de fabricación, *frontend* (capital-intensivo, con alta inversión física). Estas empresas toman los diseños de las *Fabless*

⁷ Tal como se analizará en la Parte 2 del documento, esa elevada dispersión geográfica de la cadena, generó dificultades de abastecimiento ante el aumento de la demanda que ocurrió desde el inicio de la pandemia.

o *IDMs* que tercerizan su fabricación, por lo que, al no poseer diseños propios, no participan en la venta a integradores.

- **OSAT** (*outsourced semiconductor assembly and test*), son empresas especializadas en la etapa de ensamblaje y testeo, *backend* (trabajo-intensivo, con menores márgenes). De la misma manera que el modelo anterior, no participan en la estadística de venta. Por ser trabajo-intensivas, requieren de un nivel de inversión significativamente menor, a pesar de que recientemente se ha aumentado la participación de los costos de capital en ventas.

La Tabla 1 muestra los desembolsos en I+D y capital físico como porcentaje de las ventas de cada modelo de negocio. Se puede apreciar la intensidad en conocimiento propia del modelo *Fabless*, que dedica en su conjunto un 20% de sus ingresos a la investigación y desarrollo, en contraposición al bajo gasto de capital en este modelo, que está en el orden del 4% de los ingresos. El gasto en I+D es relevante también para el modelo integrado (14%), el cual por su naturaleza también debe destinar una proporción importante de ingresos a los gastos de capital (20%).

Tabla 1. Indicadores financieros por modelo de negocio (porcentaje de los ingresos anuales entre 2016 y 2019)

Indicador	IDMs	<i>Fabless</i>	<i>Foundries</i>	<i>OSATs</i>
I+D	14%	20%	9%	4%
Capex	20%	4%	34%	16%

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

Por su parte, para las empresas dedicadas íntegramente a la fabricación de chips (*Foundries*), el gasto en capital asciende al 34% de los ingresos, dedicando también un 9% de los mismos a I+D para mejora de procesos a la vanguardia. Por último, las empresas dedicadas al eslabón final (*OSATs*), donde la mano de obra adquiere una mayor importancia relativa respecto del resto, tienen un relativamente bajo gasto en I+D (4% de los ingresos) aunque un mayor gasto en capital (16% de los ingresos).

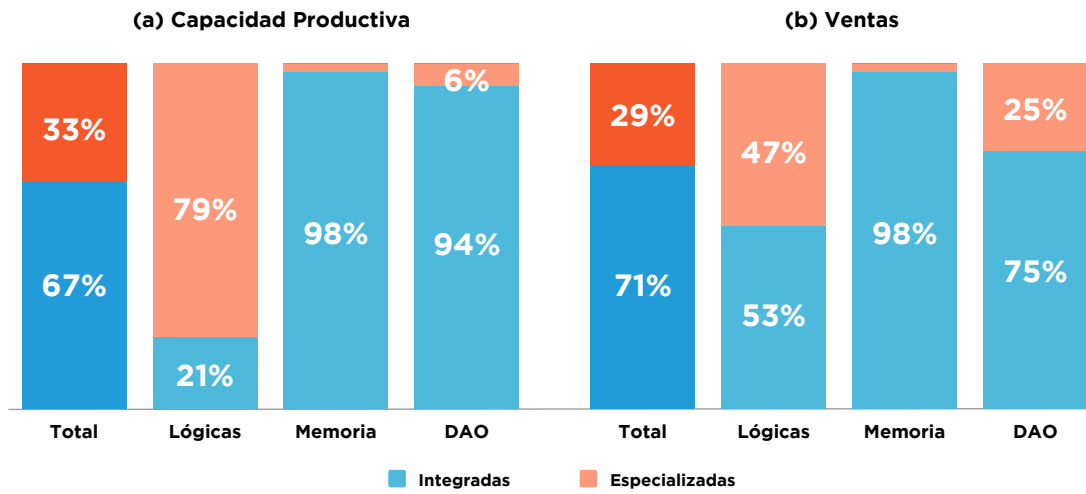
Como se mencionó antes, las firmas *IDM* son pocas, pero tienen una fuerte presencia en el mercado dado que, en general, son las de mayor historia en la fabricación de semiconductores. Así, la Figura 4 muestra que las *IDMs* representan el 67% de la capacidad

productiva de la industria, y el 71% de las ventas. Esto es, no solo que su posición de mercado es dominante, sino que a su vez tienen un rol fundamental en la producción de semiconductores, lo cual las ubica en un lugar central considerando la actual situación de exceso de demanda (e insuficiencia de capacidad de respuesta por parte de la oferta) que atraviesa la cadena y que se aborda en la Parte 2 de este documento.

Al considerar los tres tipos principales de tecnologías descritos en la sección previa, en la Figura 5 se advierte que las empresas integradas dominan sobre todo en el segmento de los circuitos de memoria (*Samsung, Micron, SK Hynix, Intel, Kioxia* son las principales) con un 98% de la capacidad instalada y de las ventas, así como en el de los dispositivos discretos y analógicos (este es un segmento de menor relevancia relativa, dominado por empresas integradas como *Texas Instruments, Analog Devices, Infineon*, entre otras) con un 94% de la capacidad productiva y un 75% de las ventas.

Por su parte, los modelos especializados ganan presencia en el segmento de dispositivos lógicos o unidades de procesamiento en general, una consecuencia directa de la evolución del modelo de negocios de algunas IDM, que primero se desprendieron de sus unidades de fabricación y luego reforzaron su suministro de esos componentes a través de operaciones de *offshoring* que, a su vez, llevaron al crecimiento de las empresas especializadas - principalmente en Asia. Se observa en la Figura 4 que las empresas especializadas tienen casi el 80% de la capacidad productiva, pero un 47% de las ventas. Esa diferencia entre la participación en ventas y capacidad productiva puede explicarse justamente por la tercerización de la producción por parte de las integradas, como *Intel*, que es uno de los principales jugadores en este segmento (con productos como unidades para ordenadores y servidores) y que todavía retiene capacidad de producción, con ambiciosos planes de expansión, y que compite fuertemente en ventas con la especializada AMD (*Fabless*), otrora una empresa integrada pero que se desprendió por completo de sus unidades de producción (tomadas por *GlobalFoundries*).

Figura 4. Participación de los modelos de negocios por segmento tecnológico, porcentajes del total de la industria (2019)



Nota: DAO se refiere a “Discretas, analógicas y otros”.

Fuente: Adaptación de Varas, et al. (2021)

Mapeo de la cadena: eslabones y proveedores

A los tres eslabones mencionados de la cadena de valor de los semiconductores (diseño, fabricación y ensamblaje), puede agregarse una etapa transversal, que es la fase de investigación precompetitiva. A su vez, existen sectores que abastecen a los eslabones, muchas veces de manera casi exclusiva. Específicamente, como se aprecia en la Figura 5, el eslabón de Diseño depende de la provisión del sector de *Software* o *Electronic Design Automation (EDA)* y el de Propiedad Intelectual (IP). Por su parte, los eslabones de fabricación y ensamblaje requieren equipamiento específico y materiales químicos, al tiempo que el eslabón de fabricación demanda específicamente las obleas “crudas” de material semiconductor o *wafers*.

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

La Tabla 2 muestra la proporción del gasto total en I+D y capital físico (Capex) que realiza cada uno de los segmentos de la cadena de valor de los semiconductores sobre el total erogado en 2019. Entre los aspectos más destacables de la tabla se advierte que del total del gasto en I+D de la industria, que en 2019 fue de USD 92 mil millones, el 71% se realiza en las etapas de investigación precompetitiva y diseño; a su vez, del total de valor agregado de la cadena, de USD 290 mil millones en el año de referencia, la mitad se genera en esas etapas. Por su parte, el eslabón más intensivo en gasto en capital (Capex) es el de fabricación *frontend*, representando el 64% del Capex total de la industria, de USD 108 mil millones en 2019. Emerge aquí una de las principales particularidades de la cadena, que es que, a nivel agregado, ésta tiene una inversión en I+D casi tan alta como la demandada en capital físico (instalaciones y equipamiento).⁸

Tabla 2. Gastos estimados en I+D y Capital por segmento de la cadena global de valor de los semiconductores (2019, en miles de millones de dólares)

Indicador	Investigación Precompetitiva	Diseño	EDA e IP	Fabricación (Frontend)	Ensamblaje (Backend)	Equipamiento	Materiales	Total
I+D	USD 17 18%	USD 49 53%	USD 3 3%	USD 12 13%	USD 3 3%	USD 8 9%	USD 1 1%	USD 92 100%
Capex		USD 14 13%	USD 1 1%	USD 69 64%	USD 14 13%	USD 3 3%	USD 6 6%	USD 108 100%

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

En los apartados que siguen se presenta una breve caracterización en detalle de cada uno de estos segmentos.

Investigación Pre-Competitiva

Durante la investigación precompetitiva se identifican los materiales fundamentales y procesos químicos que llevarán a las innovaciones en el proceso de diseño. 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. Por tanto, se trata de uno de los eslabones donde los gobiernos tienen mayor injerencia de política, a través de diversos instrumentos que incluyen el financiamiento directo de

⁸ Vale mencionar que una buena porción de las erogaciones en I+D se realizan en la fase de investigación precompetitiva, donde los desembolsos gubernamentales ocupan un rol central (Varas, et al., 2021).

las investigaciones o su desarrollo en organismos públicos, que se analizarán en la segunda parte de este documento. 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.

No se trata de un proceso que sustituye o desplaza a los procesos de I+D que ocurren en el eslabón de Diseño, sino que es un complemento necesario que, por su naturaleza, no puede tener lugar dentro de los ciclos de producto del referido escalón. Según se señala en Varas *et al.* (2021), el lapso de tiempo promedio hasta que un descubrimiento precompetitivo llegue a la fase productiva de la cadena estaría en torno a los diez-quince años, pudiendo en realidad ser incluso más, dependiendo de lo complejo de la propuesta o innovación.

Diseño

En un contexto de fuerte crecimiento tecnológico, diseñar semiconductores de punta es caro; Kleinhans y Baisakova (2020) señalan que diseñar un chip con nodos de 10 nanómetros (nm) costaba aproximadamente USD 170 millones en 2016, y que diseñar uno de nodos de 5 nm, más complejo, costaba más de USD 540 millones en 2020.⁹ La creciente complejidad de incluir cada vez más nodos en superficies cada vez más pequeñas, es una tendencia consistente con la llamada Ley de Moore.¹⁰

Debido a la especialización a la que se tiende en la industria, son cada vez más las empresas que emprenden actividades en este eslabón, diseñando chips para sus propias actividades. Así, compañías como *Alibaba*, *Alphabet (Google)*, *Amazon*, *Apple*, *Facebook* y *Tesla* se encuentran diseñando sus propios chips para realizar tareas o actividades bien específicas, como por ejemplo ejecutar algoritmos de inteligencia artificial.

Estados Unidos es el líder en la etapa de Diseño, seguido por Taiwán y China. Las diez empresas líderes a nivel global en este segmento facturaron USD 86 mil millones en 2020 (Trendforce, 2021a), de los cuales el 85% fue generado por cinco compañías (*Qualcomm*, *Broadcom*, *Nvidia*, *MediaTek* y *AMD*).

⁹ Según el estándar de la industria, cada generación del proceso de fabricación de semiconductores, también conocido como nodo de tecnología o nodo de proceso, se designa por el tamaño mínimo de la característica del proceso. Los nodos se indican típicamente por el tamaño en nanómetros (nm) de la longitud de la puerta del transistor del proceso. Los nanómetros utilizados para nombrar los nodos de proceso se han convertido en un “término de marketing” que no tiene relación con el tamaño real de las características ni con la densidad de transistores (número de transistores por milímetro cuadrado). Para más detalles ver https://hmong.es/wiki/Semiconductor_node.

¹⁰ La Ley de Moore surge a raíz de una apreciación/predicción empírica realizada por el cofundador de Intel, Gordon Moore, en 1965, la cual establece que aproximadamente cada dos años el número de transistores en un circuito integrado se duplica, incrementando la complejidad del proceso productivo del mercado de semiconductores. Esta predicción se ha sostenido empíricamente hasta hoy, pero algunos referentes sostienen que podría llegar a su fin, aunque no de inmediato, debido a la imposibilidad física de seguir aumentando el número de transistores. Esto daría lugar a un cambio en la forma de pensar la expansión de este sector, sustentado en nuevas tecnologías. Ver por ejemplo [Two ‘Pseudo-Facts’ About Semiconductors That Could Distort The CHIPS Act \(Part 4\)](https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2019/05/01/two-pseudo-facts-about-semiconductors-that-could-distort-the-chips-act-part-4/) ([forbes.com](https://www.forbes.com)).

Las empresas *Fabless* en el eslabón de diseño deben trabajar muy de cerca con sus socias en el eslabón de Fabricación, a fin de poder optimizar los procesos de innovación y producción. Desde muy temprano en la etapa de desarrollo de un sistema se decide dónde y cómo es que un determinado chip será producido. Por esta razón, las empresas del eslabón de Diseño deben trabajar de manera mancomunada con sus proveedores clave: las empresas de Propiedad Intelectual (*IP*) y las de *Electronic Design Automation (EDA)*.

Tal como se aprecia en la Tabla 2, en este eslabón de Diseño se realiza el 53% del gasto en I+D de la industria y se genera la mitad del valor agregado.

Software: *Electronic Design Automation (EDA)*

Electronic Design Automation, o *EDA*, es un segmento de mercado que consta de software, hardware y servicios con el objetivo colectivo de ayudar en la definición, planificación, diseño, implementación, verificación y posterior fabricación de dispositivos semiconductores o chips.¹¹

La principal actividad de las empresas de *EDA* consiste fundamentalmente en la provisión de *software* de alta complejidad al eslabón de Diseño.¹² Este software está enfocado a tres tipos de objetivos principales:¹³

- **Simulación:** Estas herramientas toman una propuesta de circuito y predicen su comportamiento antes de implementarlo.
- **Diseño:** Toman una descripción de una función de circuito y ensamblan la colección de elementos que implementan esa función. Este es tanto un proceso lógico (ensamblar y conectar los elementos del circuito) como un proceso físico (crear las formas geométricas interconectadas que implementarán el circuito durante la fabricación). Estas herramientas se entregan como una combinación de capacidades completamente automatizadas y guiadas interactivamente.
- **Verificación:** Son herramientas que examinan la representación lógica o física del chip para determinar si el diseño resultante está conectado correctamente y brindará el rendimiento requerido.

¹¹ Ver <https://www.synopsys.com/glossary/what-is-electronic-design-automation.html>

¹² Si bien la mayoría de los productos EDA se entregan como software, hay algunos casos en los que también se usa hardware físico para brindar capacidades. El hardware dedicado se utiliza típicamente cuando se requiere un rendimiento extremadamente alto. Este aumento drástico de la velocidad suele ser necesario para completar varias tareas en períodos de tiempo razonables (horas o días frente a semanas o meses).

¹³ Ver <https://www.synopsys.com/glossary/what-is-electronic-design-automation.html>

El segmento *EDA* se encuentra altamente concentrado y está mayormente dominado por empresas estadounidenses. De hecho, son tres las que ocupan casi todo el mercado: *Cadence Design Systems*, *Synopsys* y *Mentor* (Kleinhans y Baisakova, 2020). Este eslabón es el de mayor inversión relativa en I+D (30-40% de sus ingresos), lo que se requiere para sostener el ritmo de innovación, con necesidades cada vez más específicas que demanda la industria, en línea con la Ley de Moore. Esto retroalimenta el proceso de concentración del segmento; a modo ilustrativo, en 2010 solo Synopsys adquirió más de 46 empresas o tecnologías (Kleinhans y Baisakova, 2020).

Propiedad Intelectual (*IP*)

Además del diseño de software (*EDA*), varias compañías proveedoras desarrollan y licencian propiedad intelectual en semiconductores. Estos “bloques” o “núcleos” de propiedad intelectual son esencialmente una pieza del diseño final del semiconductor (lo cual puede significar desde núcleos procesadores hasta procesos estándares) que ya ha sido previamente verificada y testeada, y que está lista para ser incluida en el diseño de una *Fabless* o una *IDM*. Se trata, entonces, de piezas con funciones genéricas que son fundamentales para cumplir con el ciclo de producto de dispositivos tan complejos como los semiconductores modernos: no es posible que una sola compañía de diseño sea capaz de desarrollar en un tiempo y costo prudentes todos los bloques necesarios para su pieza final.¹⁴

Normalmente, las compañías de IP cobran a sus clientes una licencia por cada producto creado que contenga el componente vendido. Esto no implica, sin embargo, que todas las patentes en la industria provengan de empresas especializadas en IP. La investigación, y últimamente el control formal de las patentes puede recaer en empresas en diversos segmentos de la cadena, y es la puja por el control de esas patentes lo que da lugar a un activo mercado donde se crean empresas que eran divisiones de otras empresas, o unidades de negocios que son transferidas entre diferentes compañías.

Fabricación (*Frontend*)

El diseño final del chip se envía a las plantas de fabricación (*Foundries*) para iniciar su producción. Básicamente, en esas plantas se “imprimirán” los circuitos a escala nanométrica en obleas (*wafers*) de silicio o de algún otro material semiconductor. El número de chips en una oblea puede variar entre cien y cientos de miles.

De esa manera, la Fabricación demandará obleas de material semiconductor, equipamiento específico y químicos. El extremadamente complejo proceso se realiza en “*cleanrooms*” que

¹⁴ Esta característica del proceso productivo en el eslabón de Diseño puede interferir en el desarrollo de ciertas empresas, y es por eso que es uno de los segmentos donde China apuesta fuerte, a fin de poder cerrar brechas tecnológicas con sus competidores norteamericanos (Varas et al., 2020).

requieren de equipamiento específico para evitar cualquier tipo de contaminación a través de micropartículas en el aire que puedan alterar las propiedades de los materiales. Dependiendo del tipo de tecnología, hay entre 400 y 1400 pasos en el proceso de manufactura de estos chips en obleas, que transcurre en un tiempo promedio de 12 semanas, pudiendo extenderse hasta las 20 semanas en procesos más complejos. En el Box 2 se presenta mayor detalle respecto del proceso de fabricación.

Estos procesos de alta complejidad demandan características bastante particulares en las fábricas, lo cual puede implicar plazos de al menos dos años para su puesta operativa completa, así como inversiones de capital de gran magnitud. Una fábrica estándar con una tecnología avanzada puede costar entre USD 5 mil millones (placas analógicas) y USD 20 mil millones (placas de memoria), incluyendo el valor de la tierra, el edificado y el equipamiento (Varas *et al.*, 2021). Por todo esto, el segmento de Fabricación es el más intensivo en capital de la cadena. El costo de capital¹⁵ de las *Foundries* ronda el 30-40% de sus ingresos anuales, absorbiendo el 64% del gasto total en capital de la cadena (Tabla 2).

A su vez, ante el rápido cambio tecnológico, las inversiones pueden quedar “obsoletas” (frente a las tecnologías de frontera) en 5 o años o menos a contar desde su puesta operativa.¹⁶ Los ciclos de cambios tecnológicos, suelen redundar en diferencias en las capacidades de producción y costos entre las *fabs*: Mientras que una máquina “de frontera” puede cumplir con los requisitos de producción de productos “viejos”, no suele ser tan frecuente que una máquina “vieja” pueda afrontar los requerimientos de productos “nuevos”. Esto puede llevar a diferencias en las rutinas de producción, costos y rendimientos, no solo entre firmas, sino dentro de ellas también (Mönch, *et al.* 2017).¹⁷

Por cuestiones de ventajas comparativas, en muchos casos estimuladas por políticas públicas,¹⁸ las *Foundries* se encuentran ubicadas principalmente en Asia del Este y China continental. Los altos costos de inversión determinan, nuevamente, que se trate de un eslabón altamente concentrado, dominado por la taiwanesa TSMC, con más del 50% del mercado y especializada en tecnologías de 7nm y 5nm, seguido muy de lejos por Samsung (Kleinhans y Baisakova, 2020). Frente al fuerte aumento en la demanda de semiconductores, en 2021 las ventas proyectadas de las *Foundries* crecieron 11% y habrían llegado a los USD 94,6 mil millones; el 65% de los ingresos globales del segmento se generaron en Taiwán, 18% en Corea del Sur y 5% en China (Trendforce, 2021b).

¹⁵ Incluye el costo anualizado de los edificios, el terreno y el equipamiento de producción.

¹⁶ Ver <https://www.bloomberg.com/graphics/2021-chip-production-why-hard-to-make-semiconductors/>

¹⁷ Esto puede afectar sobre el uso final del componente resultante: por ejemplo, en el proceso de testing, puede darse que un microprocesador construido para una velocidad 4 MHz puede fallar a esa velocidad, pero sí funcionar debidamente en 3 MHz. Esta particularidad hace que la estructura de costos materiales para un determinado dispositivo electrónico sea bien variada, ya que dispositivos más avanzados de los requeridos pueden suplir las funciones requeridas de todas formas (Mönch, *et al.* 2017).

¹⁸ En la Parte 2 de este documento se proporciona detalle sobre el rol de los gobiernos en la CGV de los semiconductores, y el Apéndice 2 presenta lineamientos sobre las principales recomendaciones para una intervención eficiente.

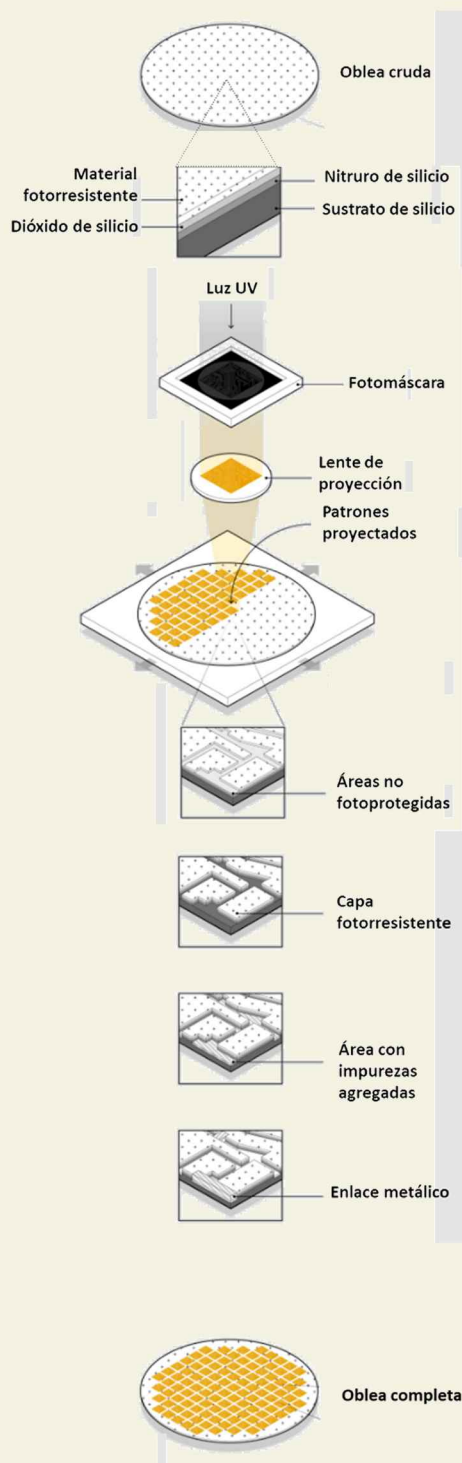
Tal como se comentará en la Parte 2 de este documento, dado que es en este eslabón en donde se aprecian los mayores cuellos de botella para resolver la crisis de abastecimiento que afecta al sector, los principales jugadores del segmento están desarrollando cuantiosas inversiones en plantas de semiconductores, apoyadas por grandes estímulos estatales, principalmente en Estados Unidos, China y la UE, que eventualmente generarán cambios en la distribución geográfica de la producción a futuro.

BOX 2. Cómo se produce un semiconductor: un proceso complejo a nivel atómico

El material semiconductor base más utilizado es el silicio. Se conforman “lingotes” de silicio, que son cilindros macizos de diversos diámetros que son luego “rebajados” para obtener las obleas “crudas” de aproximadamente 75 mm de espesor, sobre las cuales, luego de ser pulidas, se inicia este complejo proceso de impresión de circuitos. Dependiendo del producto específico, el proceso de fabricación de una oblea de semiconductores puede insumir entre 400 y 1400 pasos que demoran entre 3 y 5 meses de ejecución (Varas, *et al.*, 2021). Este proceso, que vemos esquematizado en la Figura adjunta en este Box, utiliza cientos de insumos diferentes, que incluyen químicos básicos y especializados para el proceso, equipos y herramientas en general también específicos. Los chips constan de hasta 100 capas de materiales que luego se eliminan parcialmente para formar estructuras tridimensionales complejas que conectan todos los diminutos transistores. Algunas de estas capas tienen solo un átomo de espesor.

Una de las partes más difíciles del proceso es la litografía, y que tiene un único proveedor a nivel mundial: *ASML Holding NV*. El equipo de la compañía usa luz ultravioleta extrema (que se genera naturalmente solo en el espacio exterior) para quemar patrones en materiales depositados en el silicio. Estos patrones eventualmente se convierten en transistores.

BOX 2 (Continuación)



1. Oxidación y recubrimiento

Se aplican capas de materiales aislantes y conductores a la superficie de la oblea de silicio. A continuación, la oblea se cubre con una capa uniforme de **material fotorresistente**.

2. Litografía

Los **patrones de circuitos integrados** especificados en el diseño se mapean en una placa de vidrio llamada **fotomáscara**. La **luz ultravioleta (UV)** brilla a través de la máscara para transferir el patrón a la capa fotorresistente en el disco de silicio, pasando por un **lente de proyección**.

A continuación, la parte expuesta se puede eliminar químicamente.

3. Desarrollo y horneado

Las obleas se desarrollan para eliminar **áreas no fotoprotectadas** y luego se hornean para eliminar los productos químicos solventes.

4. Grabado

Las áreas de la oblea de silicio desprotegidas por la fotoprotección se eliminan y limpian con gases o productos químicos.

5. Dopaje

La oblea se baña con **gases iónicos** que modifican las propiedades conductoras de la nueva capa al agregar impurezas, como **boro** y **arsénico**.

6. Deposición y grabado de metales

Se utiliza un proceso similar para colocar los **enlaces de metal** entre los transistores.

Los pasos 1 a 5 se repiten cientos de veces con diferentes productos químicos para crear más capas, según las características deseadas del circuito.

7. Oblea Completa

Cada oblea completa contiene cientos de circuitos integrados idénticos. Las obleas se envían para **ensamblar, empaquetar y testeo**, lo que incluye **cortar la oblea en chips individuales**.

Fuente: Extraído de <https://www.bloomberg.com/graphics/2021-chip-production-why-hard-to-make-semiconductors/>

Ensamblaje (*Backend*)

En esta etapa se convierten a las obleas de silicio manufacturadas en el *frontend* en chips que están finalmente listos para ser ensamblados en dispositivos electrónicos. Esta etapa también involucra un riguroso proceso de testeo antes de finalmente llegar al ensamblaje en los dispositivos finales.

En general, es la etapa más intensiva en el factor trabajo de la cadena. 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). Los cambios tecnológicos y las innovaciones involucradas en esta inversión están haciendo que el eslabón pase a ser, de a poco, también intensivo en capital. Estos cambios han ido acompañados de una creciente concentración del sector: las 20 principales compañías del eslabón concentraban el 70% del mercado en 2009, y una década después concentran el 92% (Kleinhans y Baisakova, 2020). Con todo, es uno de los eslabones menos concentrados de la cadena de los semiconductores. Los cuatro principales fabricantes a nivel global (*ASE*, *Amkor*, *JCET* y *SPIL*) tienen un share conjunto estimado del 30% de las ventas globales, que fueron de USD 34.100 millones en 2021.¹⁹ Otros jugadores importantes son *Powertech*, *TFME*, *TSHT*, *KYEC*, *ChipMOS* y *Chipbond* (Trendforce, 2021c). En cuanto a su distribución geográfica, dos tercios del valor agregado en este segmento de Ensamblaje se genera en China y Taiwán (Varas *et al.*, 2021).

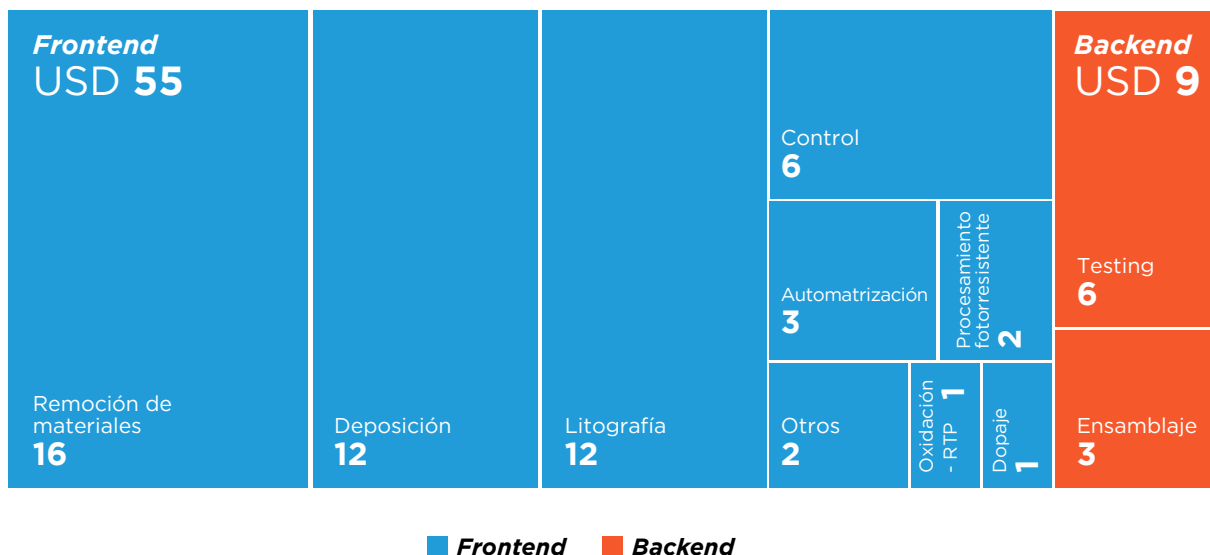
Equipamiento para producción de wafers y testeo

La producción de semiconductores requiere de más de 50 tipos de equipamiento sofisticado especializado que son, a su vez, particularmente costosos (Varas *et al.*, 2021); hacia 2020 el gasto global en equipamiento de toda la industria de semiconductores fue de USD 71.180 millones (Gartner, 2021).

Como se mencionó anteriormente, los dos eslabones finales de la cadena (Fabricación y Ensamblaje) dependen fuertemente de la provisión de este equipamiento especializado, sobre todo en la etapa de *frontend*, que requiere de muchos subprocesos en sí misma (ver Box 2). En la Figura 6, que presenta datos del volumen del mercado de equipamiento para semiconductores según distintos usos dentro de la cadena, se observa esa mayor preponderancia del eslabón de *frontend*, que en 2019 absorbió más del 85% de los USD 64 mil millones del mercado de abastecimiento de equipamiento.

¹⁹ Datos de Stratview Research, disponibles en [https://www.stratviewresearch.com/1653/outsourced-semiconductor-assembly-and-test-\(OSAT\)-market.html](https://www.stratviewresearch.com/1653/outsourced-semiconductor-assembly-and-test-(OSAT)-market.html)

Figura 6. Tamaño del mercado para equipamiento de la cadena de semiconductores, según función (2019, en miles de millones de dólares)



Fuente: Elaboración propia a partir de Varas *et al.* (2021)

A su vez, el sector de equipamiento que abastece a este eslabón influye como ningún otro proveedor en la salud de la cadena, debido a su alto grado de especialización. Esta especialización, al igual que en otros eslabones, lleva a un grado notable de concentración (existen ciertos equipamientos críticos, como la litografía EUV, donde hay un único proveedor en todo el mundo, la compañía neerlandesa *ASML*).²⁰

Los principales productores de equipamiento están en Estados Unidos, Japón y Europa, mientras que los principales consumidores (donde se emplaza la actividad *frontend*) están en Taiwán, Corea del Sur y China (Gartner, 2021). En el caso del equipamiento para *wafers frontend*, cinco empresas (*ASML* de Países Bajos, *Applied Materials* de Estados Unidos, *Tokyo Electron* de Japón, *Lam Research* y *KLA*, ambas de Estados Unidos) cubrían el 62,2% del mercado global (The Information Network, 2020). Este aspecto ha llevado a las empresas más importantes de la cadena, como *Samsung* en Corea del Sur, *TSMC* en Taiwán o *Intel* en Estados Unidos, a destinar recursos a inversiones en fábricas proveedoras de equipamiento para sus operaciones.

²⁰ *ASML* es la cuarta compañía del sector en el ranking de capitalización de mercado, por encima de gigantes como *INTEL* y *AMD*. <https://companiesmarketcap.com/semiconductors/largest-semiconductor-companies-by-market-cap/>

Materiales

Wafers “crudos”

Los fabricantes de *wafers* u obleas de silicio y otros materiales semiconductores son proveedores claves para el sector de *frontend* y se encuentran, también, altamente concentrados.²¹ De más de 20 proveedores en 1990, el sector pasó a tener solo 5 compañías concentrando el 90% del mercado en la actualidad (Kleinhans y Baisakova, 2020). Las empresas taiwanesas tienen el 65% del mercado, siendo *TSMC* la clara dominante mundial del segmento; en una escala mucho menor, le siguen *Samsung* (Corea), *Global Foundries* (Estados Unidos), *UMC* (Taiwán) y la china *SMIC* (Trendforce, 2021).

Productos químicos

Con un mercado global de más de USD 50 mil millones en 2019 (Varas *et al.*, 2021), los fabricantes de productos químicos, proveen tanto al *frontend* como al *backend*, así como también a otra multiplicidad de industrias. A pesar de no ser proveedores especializados, se trata de un sector también muy concentrado, con la característica particular de que los eslabones de la cadena que demandan estos productos necesitan un flujo continuo de aprovisionamiento que no puede interrumpirse.²²

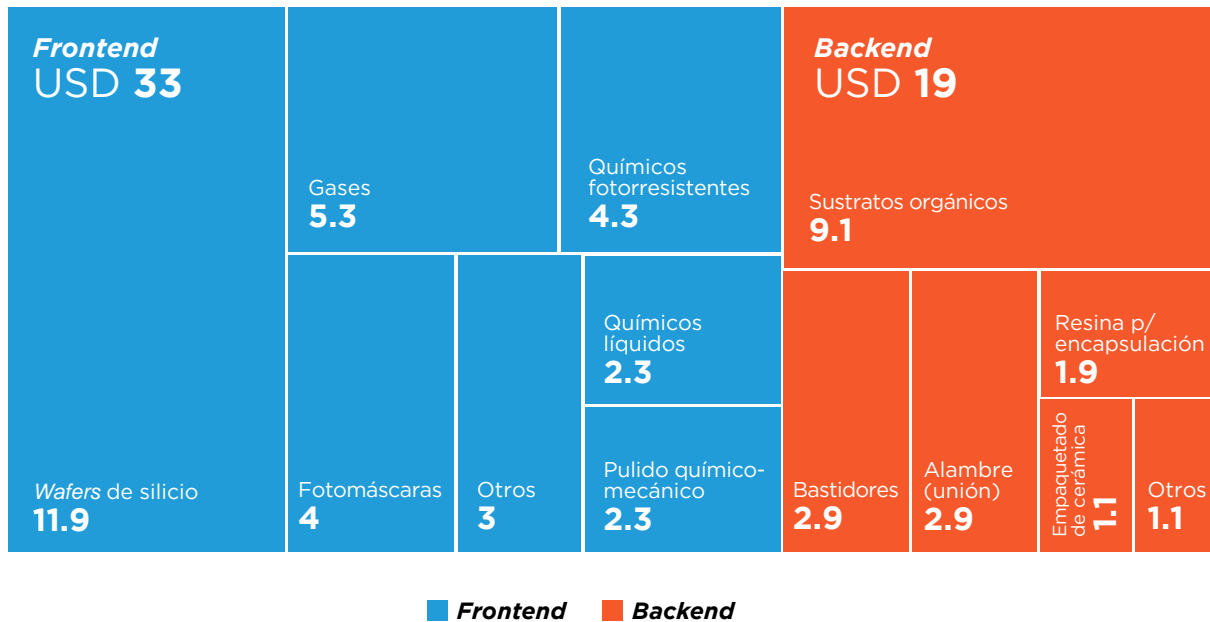
La Figura 7 presenta datos de 2019 sobre el mercado de materiales para la cadena de semiconductores. Allí se advierte la relevancia de cada segmento de materiales según provean al eslabón de *Frontend* (USD 33 mil millones) o de *Backend* (USD 19 mil millones). En el caso del *Frontend* vemos que luego de los **wafers crudos de silicio**, que son el principal insumo del sector (USD 12 mil millones), los **gases** utilizados para proteger a estos *wafers* de la exposición atmosférica son el segundo insumo en relevancia (USD 5.3 mil millones), seguidos por el **material fotoresistente** (USD 4.3 mil millones).²³ En el caso del *Backend* los **sustratos orgánicos** significan casi la mitad del mercado de abastecimiento (USD 9.2 mil millones), acompañado de otros materiales que tienen barreras de producción mucho menores que los químicos altamente especializados que corresponden al abastecimiento del eslabón precedente.

²¹ Si bien el silicio es el material de mayor difusión, existen otros utilizados para aplicaciones específicas, como el arseniuro de galio (GaAs), el nitruro de galio (GaN) y el carburo de silicio (SiC).

²² Una buena parte de los proveedores químicos se concentra en Japón, y el gobierno japonés ha tendido a aprovecharse de esta dependencia, estableciendo controles de exportaciones para bloquear el desarrollo de eslabones de la cadena en Corea del Sur (Varas *et al.*, 2021).

²³ El Box 2 describe brevemente cómo intervienen diferentes productos químicos en la fabricación de *wafers*.

Figura 7. Tamaño de mercado para materiales de la cadena de semiconductores (2019, en miles de millones de dólares)



Fuente: Elaboración propia a partir de Varas *et al.* (2021)

La cadena, desde una perspectiva geográfica: especialización y dependencia

Dada la alta especialización geográfica por eslabones, en la actualidad ningún país cuenta con la capacidad de autoabastecimiento, en materia de contener en su territorio todos los recursos productivos requeridos para abastecer su demanda nacional sin necesidad de depender de compras externas. Este rasgo hace que la cadena sea muy colaborativa, pero también muy expuesta a disrupciones causadas por tensiones comerciales y diplomáticas entre los países y diversos factores exógenos, como ocurre desde el inicio de la pandemia.²⁴

Para dar cuenta de la alta dispersión geográfica de la cadena, la Figura 8 muestra la distribución geográfica del valor agregado global de la industria, según los distintos eslabones que la conforman.

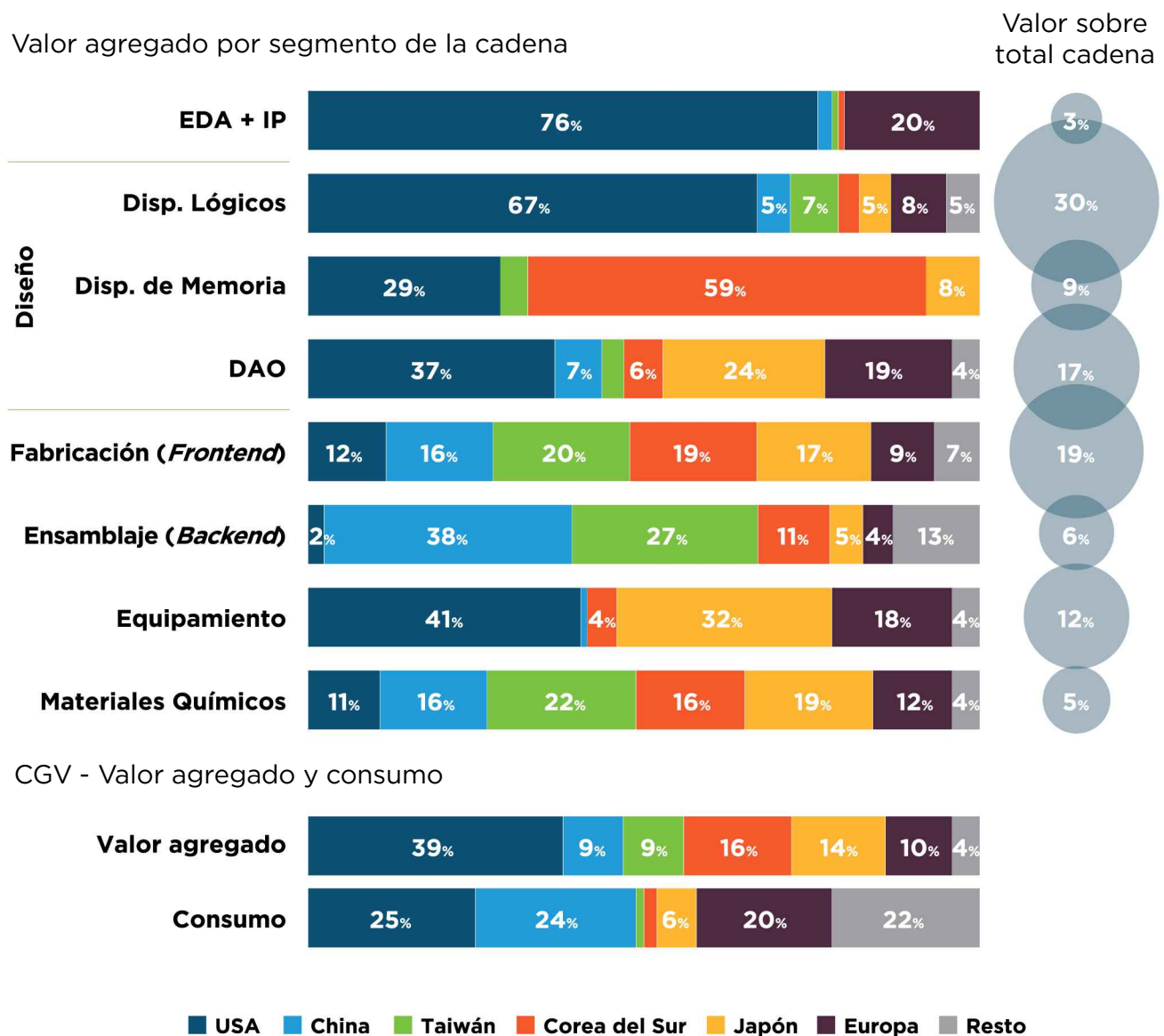
En términos agregados del sector de semiconductores, cerca del 80% de las ventas globales se concentran en Estados Unidos, China, Europa y Asia Pacífico. Por su parte, por el lado de la producción, Estados Unidos es claro dominante, contribuyendo a casi el 40% del

²⁴ Ante la crisis de abastecimiento por la que actualmente atraviesa el sector, debido a la aceleración de la demanda, los países que pertenecen a la cadena se han enfrentado a la disyuntiva entre apuntar al objetivo, posiblemente inviable y muy costoso, de lograr la autosuficiencia nacional (este es el caso de China, a lo que deben agregarse razones que exceden a la crisis) o, en cambio, tomar a la crisis como una advertencia de la importancia de contar con una cadena flexible y resiliente. La Parte 2 de este documento se enfoca en este punto con más detalle.

valor agregado global de la industria (Figura 9). Ese liderazgo se debe a un efecto de composición; tal como se aprecia en la gráfica, casi la mitad del valor agregado de toda la cadena se genera en las etapas de Diseño, en donde las compañías de Estados Unidos tienen la mayor participación del mercado.

A continuación, se presentan perfiles resumen de los países, según su especialización en cada eslabón de la cadena global de valor de los semiconductores.

Figura 8. Especialización geográfica de la cadena, según valor agregado (2019)



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

Estados Unidos



Las compañías estadounidenses tienen una posición dominante a lo largo de casi toda la cadena de suministro. En buena medida, esto se debe a la alta importancia del modelo IDM entre las empresas estadounidenses del sector. No obstante, la mayor dominancia de Estados Unidos se da en el eslabón de diseño, con una muy elevada participación de mercado en dispositivos lógicos y en el sector proveedor de software (*EDA + IP*).

Corea del Sur



Corea del Sur es otro de los grandes jugadores a nivel global, también con importantes empresas en el modelo IDM (*Samsung, SK Hynix*). Su mayor participación de mercado se da en el segmento de las tarjetas de memoria (DRAM, NAND), en el eslabón de diseño. Junto con Taiwán, China y Japón, están en el grupo de países con mayor capacidad de producción de *wafers* (*frontend*). Las empresas, también son las de mayor contribución al valor agregado en lo que hace a materiales químicos para el sector de semiconductores.

Europa



Las firmas europeas tienen un rol bastante menor en la cadena de semiconductores, aunque mantienen un peso importante en el sector de provisión del eslabón de diseño (*EDA + IP*). En diseño, tienen cierta relevancia en tecnologías específicas como sensores, semiconductores discretos y, especialmente, circuitos integrados para la industria automotriz.

A su vez, las principales empresas europeas (*Bosch, Infineon, NXP y STMicroelectronics*) siguen el modelo de negocio IDM, lo cual le da a Europa cierto posicionamiento en el eslabón *Foundry* (*frontend*).

Europa también tiene relevancia en sectores proveedores, como equipamiento (*ASML, ASM International, Aixtron*), sustancias químicas (*BASF, Linde, Merck KGaA*) y *wafers* (*Siltronic*).

Taiwán



Casi dos tercios de los ingresos globales de las *foundries* se generan en Taiwán, la mayor parte de esta cuota de mercado la aporta *TSMC* y en mucho menor medida la empresa *UMC* (Trendforce, 2021b). Taiwán también tiene el mayor share de mercado en la provisión de materiales de la cadena. A su vez, con compañías como *ASE Group*, este país ostenta una presencia importante en el mercado del eslabón *backend* (ensamblaje y testeo).

Japón



Japón tiene un rol menor en la cadena, y su principal relevancia se da en los sectores abastecedores, como el de materiales químicos, equipamiento y producción de *wafers*.

China

En general, la presencia de China en la cadena es actualmente menor que la de otros países centrales, pero ha crecido mucho en los últimos años y se prevé una mayor expansión a futuro, dados los planes de desarrollo de la cadena que ha lanzado el gobierno chino, en miras a lograr la autosuficiencia en el territorio.



En la actualidad, China es el principal jugador en el eslabón de *backend*, el de menor valor agregado, y también juega un rol importante en el segmento *wafers* y provisión de productos químicos.

América Latina

La participación de América Latina en la cadena a nivel global es muy baja, en donde México y en segundo lugar Brasil son los claros dominantes de la región. México tiene varias plantas de varias compañías internacionales, que cubren varios de los eslabones de la cadena, a excepción de la fabricación: Diseño (*Intel*), Validación (en un instituto público, el IANOE), y Ensamblado, Testeo y armado de componentes electrónicos para dispositivos finales (*Skyworks Solutions*, *Texas Instruments*, *Infineon*, entre otras). En Brasil predomina el ensamblaje y el testeo, o los servicios de ventas (salvo por las oficinas de diseño que *IBM* tiene en ambos países). Por su parte, la planta de ensamblaje de Intel que recientemente se ha reactivado en Costa Rica, en realidad había sido un proyecto suspendido (relocalizado en Asia en 2014), hasta que la crisis de oferta actual llevó a considerarla.²⁵



A pesar de su baja participación, México podría beneficiarse ampliamente ante los cambios que están ocurriendo a nivel global en la cadena: los problemas de abastecimiento que enfrenta Estados Unidos (los cuales escalan hasta un nivel de seguridad nacional), pueden encararse como bloque desde la totalidad de Norteamérica.²⁶ Además, México ya cuenta con un ecosistema con al menos 600 empresas trabajando en alguna parte de la cadena de semiconductores. Esto, en el marco del tratado T-MEC, puede dar lugar a oportunidades de proyectos conjuntos que permitan insertar mejor a México en la cadena global.

²⁵ Ver <https://www.investmentmonitor.ai/costa-rica/cinde-costa-rica-semiconductor-shortage>

²⁶ Como es de esperar, Estados Unidos domina el mercado de las Américas; las ventas en el continente fueron de USD 94 mil millones en 2020, y de USD 117 mil millones en 2021 (SIA, 2022).

PARTE 2

Desafíos actuales y respuestas de política

Introducción

Del análisis de la primera parte de este trabajo, se desprenden los siguientes aspectos salientes de la cadena de valor de los semiconductores:

- ▶ Se trata de una cadena de valor de alta concentración en los segmentos más sofisticados, que pueden ser producidos únicamente en países más desarrollados, aunque con bastante dispersión geográfica, donde cada zona se ha ido especializando en ciertos eslabones de la cadena, de acuerdo a ventajas comparativas, donde incluso tienen participación países emergentes.
- ▶ A su vez, ningún país tiene un potencial cierto de lograr “autoabastecimiento”.
- ▶ Esta especialización geográfica se da de la mano de la profundización del modelo de negocios *fabless-foundries*, donde las empresas se dedican a sólo uno de los eslabones. Esto no quita que las principales empresas del sector (también las más antiguas) funcionen en su modelo integrado (*IDM*), distribuyendo su producción a lo largo del globo.
- ▶ La especialización y el modelo *fabless-foundries* se acompaña de cada vez más concentración en cada eslabón, a fuerza de fusiones y adquisiciones.
- ▶ Es una de las cadenas de valor con mayor nivel de desembolso en I+D, a la par de otras como la farmacéutica o la aeroespacial.
- ▶ Cada eslabón reviste ciertas particularidades de intensidad de recursos: el eslabón de diseño es conocimiento-intensivo, mientras que los de fabricación y ensamblaje son más capital-intensivos; por su parte, la etapa de ensamblaje es la más trabajo-intensiva de las tres.

- ▶ Los semiconductores representan una pieza clave tanto por su influencia en el crecimiento económico reciente y futuro, habilitando el cambio tecnológico, como en la seguridad nacional de los países, lo cual explica por qué ciertos países quieren tener un rol relevante dentro de la cadena.
- ▶ A su vez, la especialización geográfica y la concentración vuelven vulnerable a la cadena ante eventos adversos como catástrofes (terremotos o la propia pandemia, por ejemplo), así como frente a tensiones geopolíticas.

Esta segunda parte del trabajo se enfoca en los dos últimos puntos mencionados; tomando como base el vertiginoso crecimiento reciente del sector, se analizan los principales desafíos que surgen ante la crisis de abastecimiento que lo afecta y las respuestas de política que casi todos los países involucrados en la cadena han anunciado recientemente.

El texto se organiza como sigue: Primeramente, se revisan los principales números que perfilan la evolución reciente del sector y tendencias asociadas. Luego el análisis se enfoca en la crisis de abastecimiento que tiene lugar desde la segunda mitad de 2020, intentando obtener algunas enseñanzas preliminares sobre el estado actual de la cadena en cuanto a su resiliencia. Finalmente, la última sección revisa las respuestas de política en los principales actores globales en un marco de consideraciones sobre el rol de los gobiernos en la cadena.



Tecnologías y estrategias de producción en un sector complejo

Antes de pasar al análisis de la crisis de desabastecimiento de semiconductores y las respuestas de la industria y la política pública, resulta conveniente detenerse en entender cómo funcionan las estrategias de producción dentro de la industria. En la primera parte de este documento se hizo referencia a que el proceso de producción de semiconductores tiene la particularidad de ser muy costoso, así como de demandar largos plazos de producción y trabajo mancomunado con los sectores proveedores. En esta sección se revisan en algo más de detalle estos aspectos y sus implicancias.

Producir una oblea de semiconductores implica la repetición de cinco pasos genéricos descritos en el Box 2 cientos de miles de veces. Esto puede llevar, dependiendo de la complejidad del circuito, entre 3 y 5 meses de trabajo hasta tener la oblea lista para ser cortada y enviada al eslabón de *backend*.

Esta complejidad define el “estándar de fabricación”, también conocido como “nodo tecnológico” o “nodo de proceso”. Este estándar se mide en nanómetros (una milésima parte de un metro) y se refiere al tamaño mínimo de los componentes del chip. Así, la definición solía aludir a la longitud de la puerta de los transistores, pero 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.²⁷ En un sentido general se puede decir que el nodo tecnológico refiere a la densidad de transistores que entran en un chip, lo cual involucra también ciertas arquitecturas de diseño y generaciones de circuitos: mientras más pequeño el nodo, habrá transistores más pequeños, pero de mayor velocidad y eficiencia energética.

La llamada Ley de Moore, mencionada anteriormente, predice que el número de transistores en chips lógicos se debería duplicar cada aproximadamente 2 años. Este patrón empírico se ha venido cumpliendo en el tiempo, conllevando que la tecnología más avanzada en la actualidad sea la de nodos de 3 nm, estándar alcanzado, hasta ahora, solo por la taiwanesa TSMC, pero que todavía no ha salido a mercado.

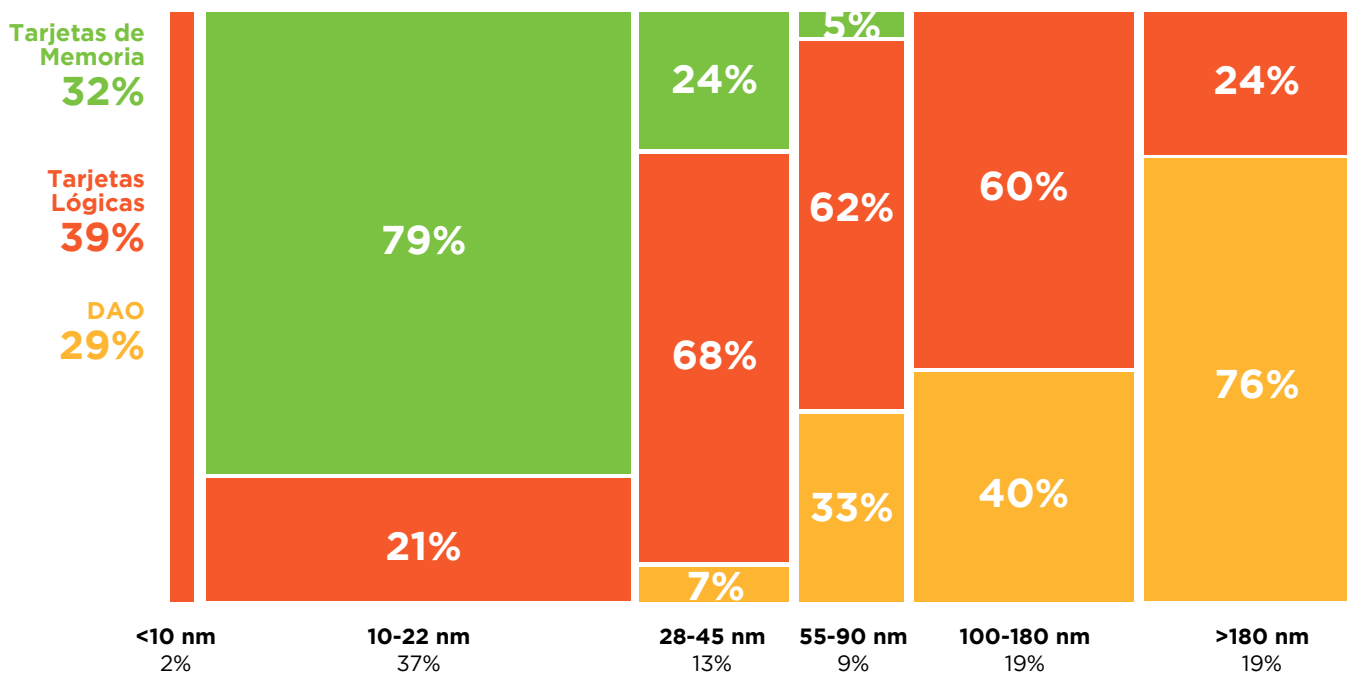
Este ritmo de avance tecnológico hace que los equipos de producción de punta tengan una vida útil de aproximadamente 5 años, antes de quedar obsoletos frente al nuevo estándar más avanzado de la industria. En general, un equipo diseñado para la producción de frontera puede ser capaz de producir chips de estándares previos, pero los equipos “viejos” no pueden producir los chips de frontera (Mönch, *et al.* 2017).

Esto puede llevar a diferencias en las rutinas de producción, costos y rendimientos tanto entre firmas como dentro ellas, lo cual es un punto relevante a la hora de entender la respuesta de corto plazo de la industria al reciente *shortage*. Otro punto que vale destacar es que estos cambios tecnológicos no necesariamente vuelven obsoletos a los demás nodos: chips menos complejos siguen siendo demandados por diversos sectores.

En la Figura 9 se observa que en 2019 sólo el 2% de la capacidad instalada de la industria se destina a chips de menos de 10 nm, y que esa tecnología se utiliza solamente en dispositivos lógicos. La mayoría de los chips de memoria, por su parte, son de entre 10 y 22 nm. Los dispositivos discretos, analógicos y otros (DAO), al ser menos complejos, abarcan la mayor parte de la capacidad instalada para nodos de más de 180 nm. Según diversas fuentes consultadas, en el actual *shortage* el mayor desabastecimiento parece estar en los nodos de más de 180 nm (BID, 2022), particularmente en los DAO, lo cual puede indicar que la producción de la industria fue dirigida hacia otros chips, como los lógicos, que compiten con los DAO en la capacidad para los nodos de más de 180 nm. Teniendo en cuenta que, como veremos en lo que sigue, las inversiones privadas y los planes de apoyo de los países apuntan hacia las tecnologías de frontera, el desabastecimiento en los segmentos menos sofisticados se resolvería por la “liberación de capacidad” en fábricas ya operativas, dado que los equipos tendrían el potencial de cubrir operaciones de tecnologías previas.

²⁷ La información presentada se basa en https://en.wikichip.org/wiki/technology_node

Figura 9. Capacidad instalada de producción, según nodo tecnológico y tipo de semiconductor (2019)



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

Finalmente, cabe también considerar las estrategias de entrega de las empresas. Siguiendo a Mönch, *et al.* (2017), existen esencialmente dos tipos de estrategias en la industria: *make to stock* (MTS) y *make to order* (MTO).

La estrategia MTS predomina en compañías que producen a gran escala (RAMs, memorias flash, etc.) y consiste en mantener inventarios de “dados” semiconductores ya testeados (*die-bank inventory*).²⁸ Esto es posible dado que, con un diseño disponible, las etapas iniciales de fabricación son el cuello de botella más importante en materia de tiempos de entrega. Esto tiene sentido mayormente para firmas *IDMs* que acumulan el stock antes de las etapas de ensamblaje y testeo, y consumen el inventario (o lo expanden) según la demanda del *backend*.

Por su parte, las empresas con estrategias MTO producen para diversos clientes; esta es una estrategia cada vez más utilizada, dada la especialización tecnológica. Para este tipo de empresas, una estrategia MTS no es posible porque los cambios se dan en la etapa de fabricación. Así, estas empresas optan por trabajar con estructuras “modulares” que permitan tener partes críticas de las obleas prearmadas (*wafer bank*). Incluso se puede

²⁸ Los “dados” (en inglés, *dies*) son las piezas que resultan luego de cortar la oblea ya impresa con circuitos.

combinar capacidad de diversas fábricas (*pool*) en caso de ser necesario, debido a la incapacidad de expandir capacidad productiva tan rápido como puede cambiar la demanda.

Muchas firmas operan con estrategias mixtas MTO-MTS, realizando acuerdos contractuales con ciertos clientes que permiten cierta estabilidad y previsibilidad en el mediano plazo, y la restante capacidad se cubre con una estrategia MTO que es más “incierta”.

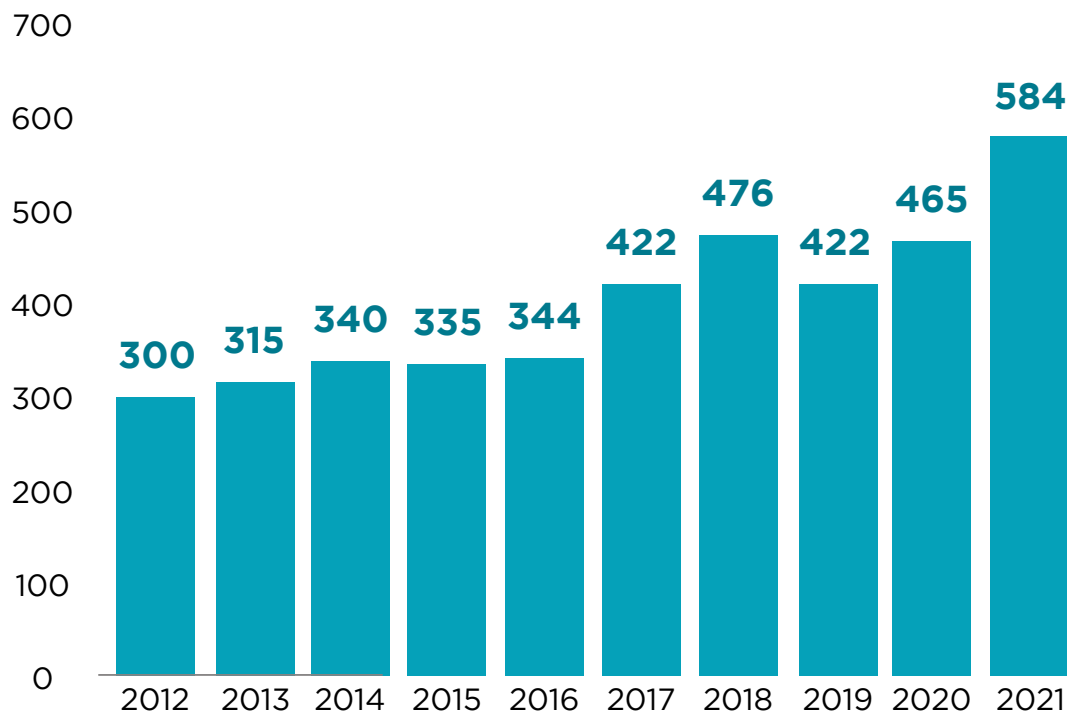
Lo que sucedió en la actual crisis es que los pronósticos de los clientes (sobre todo de las automotrices) fueron erróneos, llevando a romper contratos y redireccionar la capacidad productiva de las empresas hacia otros contratos y clientes con demanda creciente. Este proceso fue acompañado con el vaciamiento de los stocks, dado el salto discreto en las cantidades demandadas.

Evolución reciente y crisis en un sector clave

De la mano de la expansión masiva en el acceso de la población a nuevas tecnologías, el crecimiento del sector de los semiconductores ha sido notable durante las últimas tres décadas, incrementando su relevancia en las economías. Así, el aumento de la eficiencia de los chips y su abaratamiento permitieron la expansión masiva de las computadoras personales en los '90, los servicios web durante los 2000, y la “revolución smartphone” que tuvo lugar sobre todo en la última década.

Entre 2012 y 2020, las ventas mundiales de semiconductores, pasaron de USD 300 mil millones a más de USD 465 mil millones, y tuvieron un crecimiento anual de más de 25% en 2021, superando los USD 583 mil millones (Figura 10). De acuerdo a WSTS (2021), el mercado global de semiconductores crecerá en 8,8% en 2022.

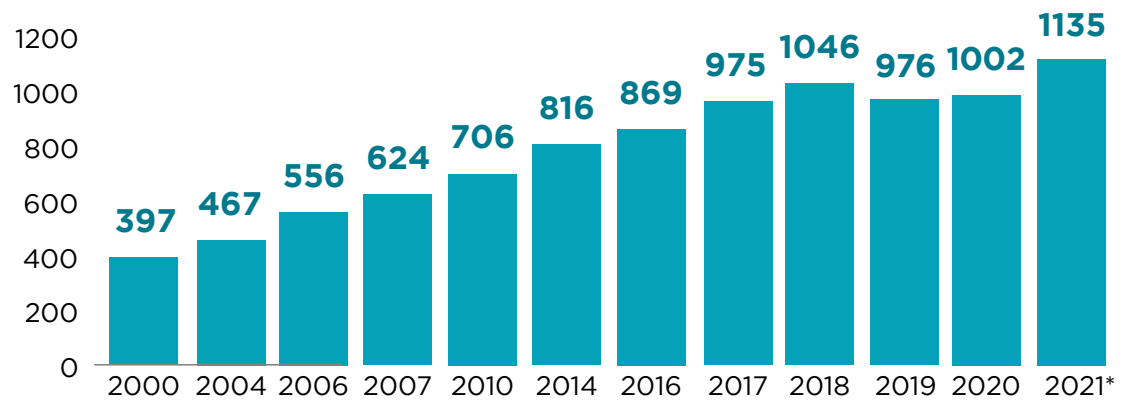
Figura 10. Ventas globales de semiconductores (en miles de millones de dólares)



Fuente: Elaboración propia en base a Gartner (2022)

Otro indicador que da cuenta de la notable expansión del sector es el número de embarques de semiconductores, que pasó de 400 mil millones de unidades en 2000 a 1,14 billones estimado para 2021 (Figura 11). El crecimiento de los despachos en 2021 fue de 13%, menos en términos relativos que el 25% de aumento de las ventas mencionado en el párrafo anterior, lo cual puede ser un indicio de fuertes aumentos de precios ante la crisis de abastecimiento.

Figura 11. Embarques globales de semiconductores (en miles de millones)



Fuente: Elaboración propia en base a IC Insights (2021)

Tal como se comentó en la primera parte de este documento, el gran desarrollo del sector durante las últimas décadas fue acompañado de cambios en la estructura de mercado, con tendencias hacia una mayor concentración de la producción, dentro de cada uno de los eslabones, en menos empresas, aunque más dispersas geográficamente.

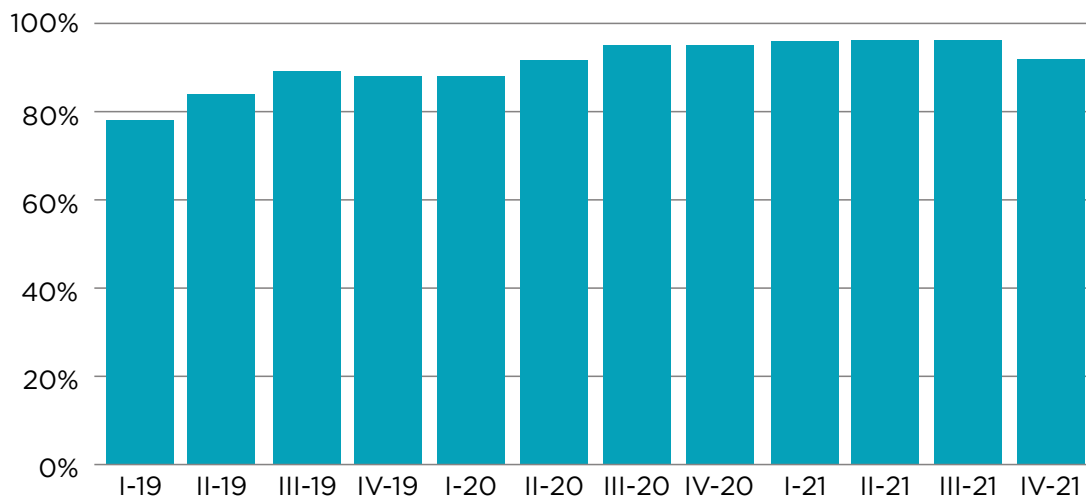
También ha habido cambios en la estructura de los modelos de negocios; partiendo de una situación a inicios de siglo en que las ventas estaban altamente concentradas en las empresas integradas (*IDM*), a lo largo del tiempo las empresas especializadas en diseño (*Fabless*) han ido ganando participación; en efecto, a partir de datos de Gartner (2021), se observa que la relación de ventas de las *IDM* sobre las *Fabless* pasó de diez a menos de tres entre 2000 y 2020.

En este marco es que, en los primeros meses tras el inicio de la pandemia del Covid-19, el sector de los semiconductores se vio afectado en la oferta, al igual que la mayoría de los sectores de la economía: paralización por incertidumbre y disrupción en la cadena de producción (demanda paralizada). No obstante, las soluciones que emergieron naturalmente ante el confinamiento ocasionado por la pandemia, como el teletrabajo y la teleeducación, dispararon la demanda global de dispositivos electrónicos, sobre todo en materia de computadores personales. Por su parte, contrariamente a las proyecciones, la demanda

de automóviles se mantuvo sólida. La cadena se constituyó entonces como mucho más que una “actividad esencial”, y la demanda rápidamente superó a la capacidad de respuesta de la oferta.

El cuello de botella fue puntualmente el eslabón de fabricación *frontend* que, como se vio, demanda inversiones de gran cuantía con un plazo de operatividad no menor a dos años. La respuesta inmediata del sector fue la de llevar su uso de la capacidad instalada de valores ligeramente en torno al 80% a valores muy cercanos al 100%, tal como se observa en la Figura 12.

Figura 12. Evolución de la utilización de la capacidad de la industria (2019-2021)



Fuente: Extraído de SIA (2021)

Este aumento de la utilización de la capacidad instalada se dio en paralelo con un escenario de redefiniciones de contratos por parte de los clientes. Algunos sectores, como los automotrices, pronosticaron inicialmente una fuerte caída de la demanda, ante lo cual suspendieron órdenes de semiconductores. Este pronóstico finalmente no se concretó, y cuando las empresas quisieron recuperar su cupo, se dio que el mismo ya había sido reasignado hacia los sectores IT, que enfrentaron un gran crecimiento de demanda. El desabastecimiento es, entonces, mayor en los semiconductores de más de 180 nm, asociados mayormente al segmento automotor.

Esta situación de ruptura de contratos y reasignación de la producción redundó en que, para algunos de los clientes de la cadena se diera un marcado aumento en los tiempos de entrega. Según *Susquehanna Financial Group*, el tiempo promedio que transcurre entre la

orden de compra y la entrega fue 25,8 semanas en diciembre de 2021; esto es seis días más que en el mes anterior y representa el valor máximo de la serie, que se elabora desde 2017, cuando el tiempo de entrega era de menos de 13 semanas.^{29 30}

De cara al mediano plazo, la respuesta tuvo que ver con más inversión: con un incremento de 34% respecto al año previo, la inversión en capital para el 2021 (Figura 13) habría llegado a los USD 152 mil millones (SIA, 2021), y sería aún mayor en 2022. Se trata de números inéditos para el sector, lo cual, para algunos analistas, podría llevar a un problema de sobreoferta en el mediano plazo (Global Times, 2022).

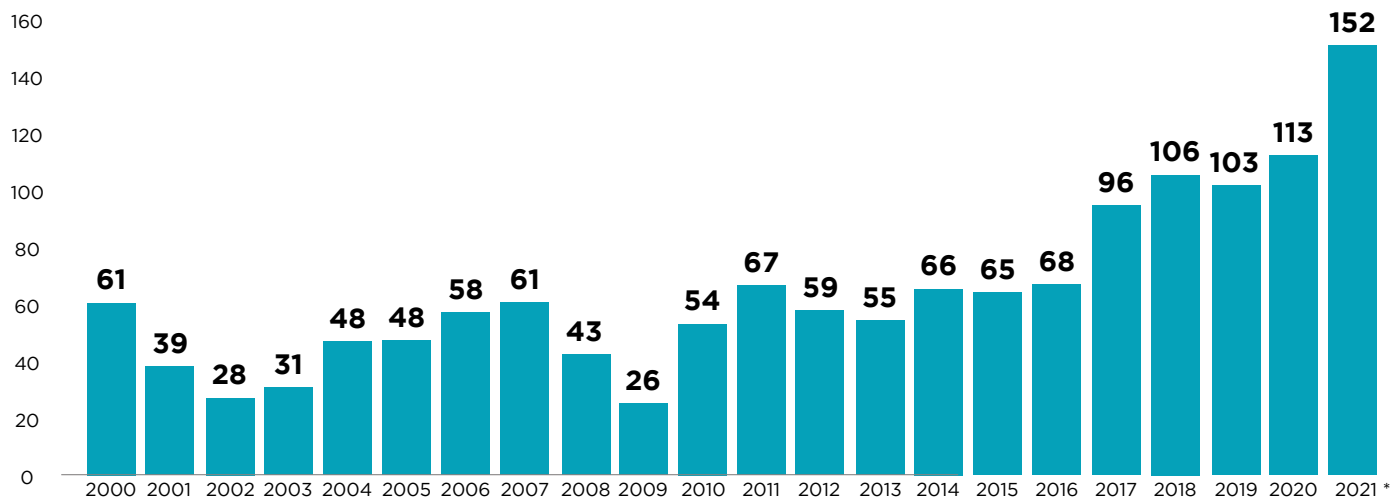
A su vez, un aspecto que llama la atención es que, mientras el desabastecimiento aparece más marcado en semiconductores de nodos de mayor tamaño, los anuncios de inversión (así como la dirección en la que apuntan la mayoría de los programas públicos que se analizarán en la sección siguiente) están dirigidos hacia los estándares más avanzados. Esto sugiere un patrón de inversiones que no responde solamente al desabastecimiento, sino al quiebre en la estructura de la demanda (hacia componentes más avanzados tecnológicamente) que ha adelantado la pandemia.

Ante esto, el faltante en nodos de más de 180 nm se resolvería una combinación de (1) mayor oferta proveniente de fábricas existentes, que hoy no se ocupan de esos semiconductores pero que se encuentran en las adyacencias, (2) nuevas fábricas para chips “grandes”, (3) cambios en la demanda que logre una adaptación hacia los chips genéricos con mayor oferta futura.

²⁹ Para más información ver <https://www.zerohedge.com/technology/chip-delivery-times-hit-record-shortage-worsens>

³⁰ Según fuentes consultadas, una de las respuestas de las firmas consumidoras ante este aumento de los tiempos de entrega fue recurrir a vías alternativas de provisión, al estilo de subastas, en las cuales se compran componentes sin conocer el origen específico o el fabricante, e implicando pagos de varias veces el valor regular del componente.

Figura 13. Gasto de capital en la industria global de semiconductores (en miles de millones de dólares)



*Estimado.

Fuente: Gartner (2021)

Ahora bien, si bien la inversión privada proyectada está en máximos históricos, también es cierto que la incertidumbre también es elevada. Esto se debe a que no solo las empresas han reaccionado al “llamado de atención” que resultó ser esta crisis sectorial, sino que también lo han hecho los gobiernos, al quedar al descubierto la vulnerabilidad esencial de la cadena frente a disrupciones externas.

Para los gobiernos, los semiconductores no solo son una pieza clave de desarrollo, sino también –hoy más que nunca– un asunto de seguridad nacional. La crisis actual ha despertado alertas, y los principales países involucrados en la cadena han reaccionado con cuantiosos paquetes fiscales de medidas, intentando procurar aumentar la capacidad productiva de chips en sus propios territorios. Esto, enmarcado en un contexto donde China ya tiene planes en ejecución que pretenden consolidar su relevancia en la cadena para la próxima década.

Quizás la respuesta más inesperada (como se verá más adelante) es la de Estados Unidos, país que habría dado un inédito giro hacia la política industrial. Estos intentos de Washington de disrumpir en la CGV, y la respuesta de China quien, junto con Japón, Corea del Sur y otros países de Asia-Pacífico, implementaron el *Regional Comprehensive Economic Partnership (RCEP)* en orden a formar una cadena de suministro libre de interferencias de Estados

Unidos, potencian el grado de incertidumbre respecto a la nueva configuración geográfica de la cadena de suministro.³¹

En este contexto, mientras se definen diversos aspectos clave que afectan el mercado, los productores estarían siguiendo una estrategia “*wait and see*” que incluso podría implicar aumentos de precios en el corto plazo (Global Times, 2022).

Un estudio de KPMG (2021) muestra los resultados de una encuesta a 156 ejecutivos de la industria de semiconductores. El trabajo encuentra que los aspectos que más preocupan en la industria son los geopolíticos y territoriales, en particular por parte de China y Estados Unidos, lo cual podría generar una presión de costos y mayor complejidad de la cadena. Además, las tarifas en componentes exportados o importados aumentan los costos, incentivando a las empresas a buscar estrategias de mitigación al mismo tiempo que generan desafíos logísticos y en la *compliance*.

La disrupción de la cadena es otro aspecto de gran preocupación; los aumentos de costos de comercio y de tarifas, está llevando a algunos fabricantes a tomar nuevas medidas para optimizar la cadena de valor, a través de cambios en el origen geográfico de las fuentes de suministro.

Por último, el factor capital humano sigue siendo importante, aunque en menor medida que en años previos a la pandemia, principalmente porque el trabajo remoto hace posible resolver algunos cuellos de botella. En efecto, el 64% de los encuestados por KPMG reconocen que el trabajo remoto ha permitido agrandar la base de búsqueda de talentos potenciales, facilitando cumplir con los requerimientos de talento de las empresas.

³¹ El RCEP, en vigencia desde enero de 2022, es el mayor tratado de libre comercio del mundo; los países firmantes, entre los que se destaca la ausencia de India, aportan al 30% del PIB global y el 25% del comercio internacional. El tratado incluye importantes reducciones arancelarias (a implementarse gradualmente) y facilitaciones del comercio entre los firmantes, para estimular el comercio y las inversiones dentro del bloque y fortalecer las cadenas de suministro regionales.

BOX 3. Drivers del aumento en la demanda de semiconductores y perspectivas

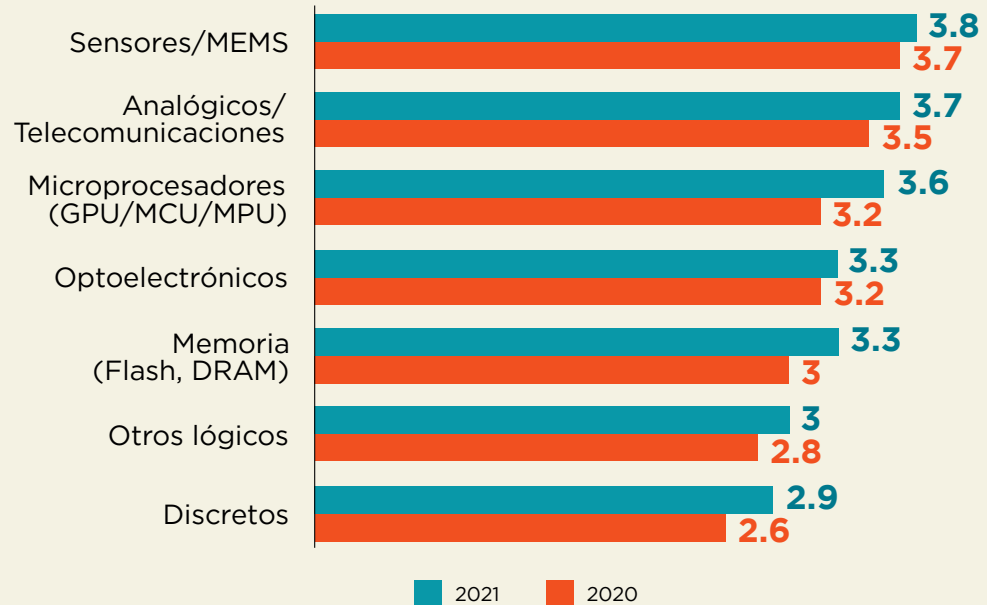
Durante los últimos dos años, el sector de semiconductores vio alteradas las circunstancias proyectadas para su demanda. Las soluciones del mundo a la pandemia por el coronavirus, como el teletrabajo o la teleeducación, llevaron a un fuerte crecimiento del consumo de semiconductores para dispositivos personales, como las computadoras. En efecto, según SIA (2021), la demanda de semiconductores para computadores aumentó en más de 21% en 2020. También fue importante el crecimiento de 8% en la demanda de chips para equipamiento industrial, que se vincula principalmente a la respuesta de las industrias en materia de aceleración digital.

Respecto de las expectativas hacia el futuro, el estudio de KPMG (2021) encuentra que el 85% de los encuestados esperaba un crecimiento de las ventas para 2021, y sólo un 8% esperaba caídas. Esas perspectivas favorables para el sector son aún más marcadas entre las empresas más pequeñas (con ingresos anuales de menos de USD 100 millones). También hay optimismo respecto de las utilidades del sector, lo cual tiene que ver no solo con el gran incremento en la demanda, sino también con la adopción de una estrategia de gasto más eficiente por parte de las compañías.

El mismo estudio sugiere que no se esperan grandes cambios en los nichos tecnológicos que dinamizarán el crecimiento del sector respecto de la situación pre-pandemia. Los sectores de sensores y analógicos son los de mayor oportunidad de crecimiento, según los más de 150 empresarios entrevistados. Esto puede responder a un importante crecimiento proyectado en el internet de las cosas (IoT), el cual incluye en parte a la demanda para innovaciones en el sector automotriz. También hay buenas perspectivas de crecimiento en la demanda de microprocesadores, sobre todo debido al auge de la minería de criptomonedas.

BOX 3 (Continuación)**Sectores tecnológicos según oportunidades de crecimiento**

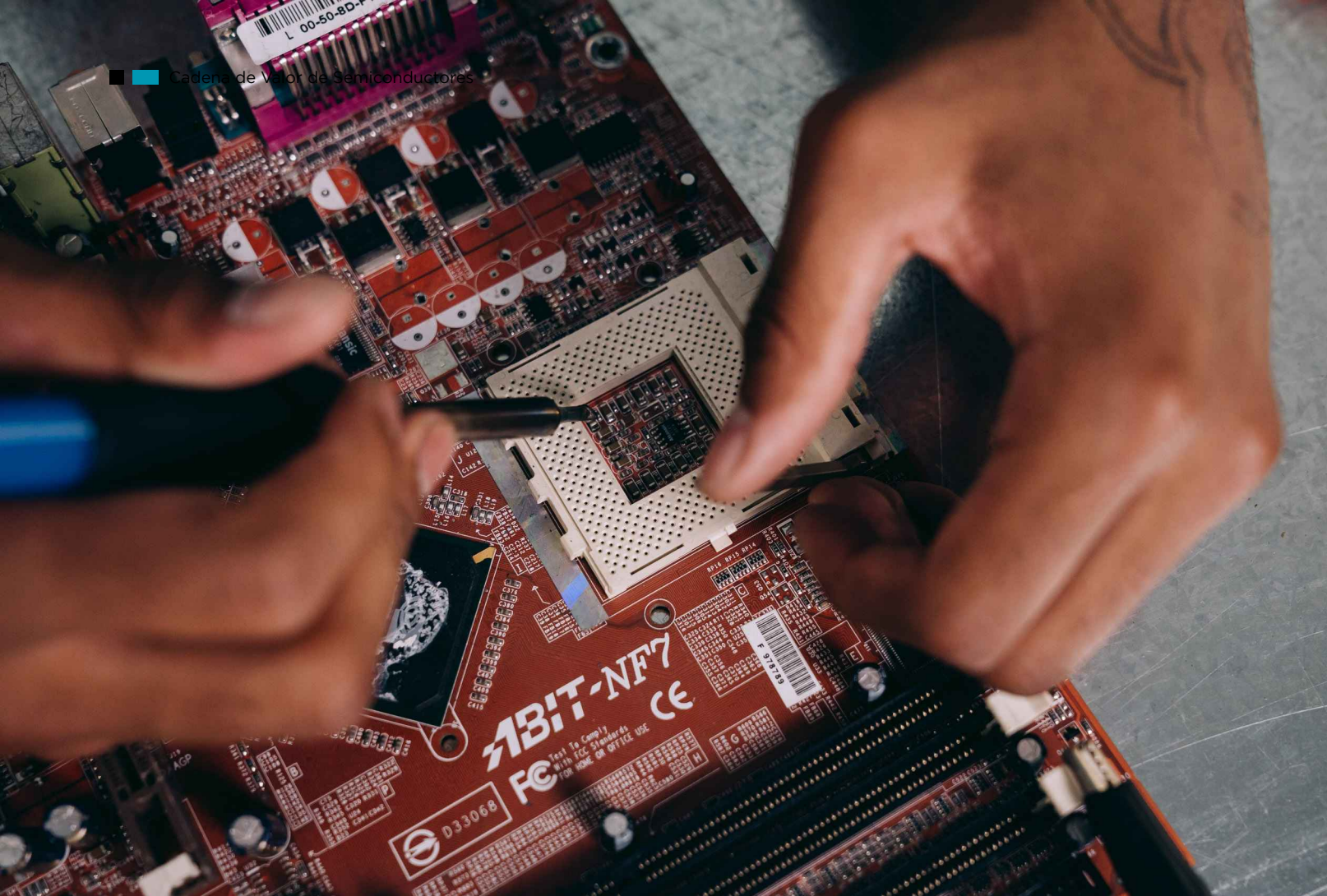
(1 = Bajo potencial de crecimiento, 5 = Alto potencial de crecimiento)



Fuente: KPMG (2021)

Las aplicaciones que marcarán la mayor demanda de semiconductores son las comunicaciones inalámbricas y de IoT, seguidas por la tecnología 5G y el sector automotriz.

Los fabricantes de automóviles están ganando importancia como consumidores de semiconductores; a medida que se continúe con el desarrollo de automóviles más conectados, eléctricos y autónomos, y en la medida que exista una mejor infraestructura para vehículos autónomos con 5G, inteligencia artificial y desarrollos en la nube, el sector automotriz será cada vez más importante como comprador de semiconductores en los próximos años.



Crisis de abastecimiento: ¿cuáles son las alertas?

La crisis del sector se presenta como una de exceso de demanda, debido a las rigideces en el eslabón de fabricación. Esta disrupción tuvo efectos no solo en la cadena y en los consumidores directos de microchips, sino también que se extendió hacia otras cadenas, tal como la de la industria automotriz (ver Box 4). Un caso referencial es el de Michelin España, que en noviembre de 2021 tuvo que suspender turnos de su producción de neumáticos debido a las bajas imprevistas en la producción de Ford y General Motors ante la falta de componentes semiconductores para sus vehículos.³²

³² Ver https://as.com/meristation/2021/10/16/betech/1634352373_453529.html

La situación levantó, tanto para empresas como para gobiernos, sendas alertas sobre la resiliencia de la cadena. Como se mencionó antes, la crisis que atraviesa actualmente la cadena se enfoca en el eslabón de fabricación (*frontend*), debido a los tiempos y costos que implica expandir la capacidad en este segmento.

De esta manera, mientras que las empresas buscan asegurar su suministro en los años venideros, los países centrales involucrados en la cadena han apuntado al anuncio de paquetes fiscales variados que buscan, en mayor o menor medida, atraer inversiones a sus territorios, principalmente en el eslabón de producción, que serán analizados en la sección siguiente.

Ahora bien, ante las intenciones de atraer inversión por parte de todos los involucrados, la pregunta que emerge es si estos incentivos son suficientes en sí mismos o hay otros factores que cuentan para que una empresa decida ejecutar inversiones de tamaño calibre. Varas, *et al.* (2020) analizan los factores que afectan la participación de Estados Unidos en la capacidad productiva de la cadena. En base a consultas a actores clave de la industria, el trabajo sostiene que hay cinco puntos clave que determinan la decisión de una empresa de montar una planta en un determinado país:

- Costos laborales
- Incentivos gubernamentales,
- Acceso a talento,
- Seguridad de la propiedad intelectual y los activos, y
- Existencia de un ecosistema empresario vinculado a la cadena.

Otros puntos de menor importancia, pero deseables y necesarios, son cuestiones de índole más general o macro, como la facilidad de hacer negocios, el costo del capital, la infraestructura de soporte general, y consideraciones geopolíticas. La posición relativa de Estados Unidos es favorable en tres de esos aspectos clave (talento, seguridad y ecosistema) y desfavorable en costos laborales e incentivos del gobierno.

BOX 4. Impacto de la crisis de abastecimiento en el sector automotriz

La escasez de semiconductores podría costarle al sector automotriz USD 210 mil millones en 2021, lo que equivale a una reducción en la producción de 7,7 millones de unidades.^b En Estados Unidos, la escasez de chips resultó en 1,28 millones de automóviles menos ese año. México también se ha visto afectado, según INEGI, la producción de autos ligeros fue de 2,98 millones de unidades en 2021, evidenciando una caída anual de 2%, que en parte se explica por la crisis de abastecimiento (Banxico, 2021), y con una muy importante reducción en las ventas en febrero de 2022.

Más allá que las nuevas inversiones en curso permitirán expandir la capacidad de producción, el problema recién podría comenzar a resolverse durante 2023, y por lo tanto continuarán los largos tiempos de entrega, problemas de disponibilidad y fluctuaciones de precios a lo largo del año.

Para la industria automotriz, en el mercado se espera un aumento de los precios de los componentes en el rango de 10-20%, que estaría explicado por la escasez de materiales, como cobre, oro, combustibles y los *wafers* de silicio. Otro factor que podría presionar los costos de las automotrices es el precio del servicio de *foundry*, los que también podrían tener un incremento importante en 2022. TSMC el mayor fabricante del planeta, aplicaría incrementos de precios de entre 10 y 20% este año. Es probable que estos aumentos de costos se trasladen a los precios de los automóviles.^c

^b Ver <https://www.freep.com/story/money/cars/2021/06/15/car-chip-shortage-2021/7688773002/>

^c Ver para más detalles

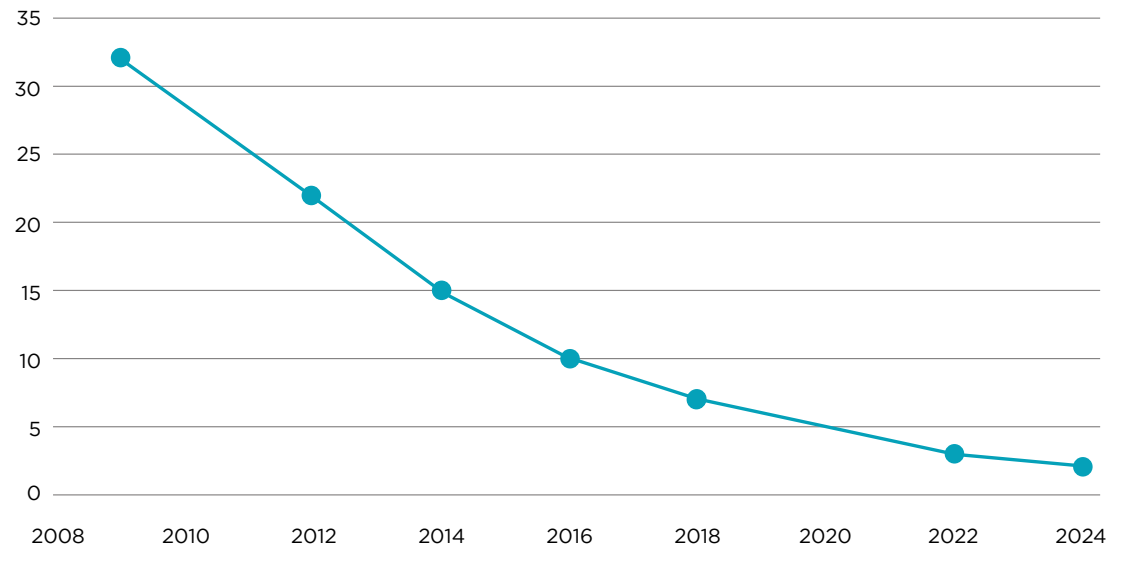
https://www.supplychain247.com/article/predictions_for_the_2022_global_semiconductor_sector

De lo anterior puede apreciarse que los incentivos gubernamentales no lo son todo, sino que se necesita un ambiente favorable de manera integral. Pero a su vez, de cara al futuro existe otro condicionante relacionado al vaticinio por parte de algunos expertos, de que la Ley de Moore que predice la duplicación del número de transistores por chip cada dos años, llegaría eventualmente a un punto de agotamiento (Calhoun, 2021).

Los motivos de ese agotamiento se basan en cuestiones físicas: los chips más avanzados actualmente contienen nodos de 3 nm (Figura 14), y si bien podrán seguir los avances, ellos serán a un ritmo cada vez más lento al punto que eventualmente habrá una convergencia asintótica hacia un límite inferior de nm. Ante ello, se podría estar en las puertas de nuevos paradigmas con tecnologías asociadas (computación neuromórfica, computación cuántica) menos acotadas por el espacio físico en donde la mayor parte de la inversión en investigación básica en la actualidad se realiza desde el sector público (McKinsey, 2021).³³

De esta manera, cabe preguntarse si es correcto direccionar fuertemente las políticas hacia fábricas, o si en cambio quizás los gobiernos debieran ampliar su mirada de política para las inversiones que acabarán dando una nueva forma a la cadena en su escala global.

**Figura 14. Estándares de fabricación de la industria
(tamaño en nanómetros de los nodos de procesamiento)**



Fuente: Elaboración propia en base a Calhoun (2021)

³³ Cabe también destacar que, entre otras actividades, en el Centro de Diseño de Guadalajara de Intel se realiza investigación básica en sistemas autónomos, neuromórficos y computación cuántica (Intel, 2022).

BOX 5. La distribución de la capacidad de producción en el tiempo y la cuestión geopolítica

La crisis actual de los semiconductores tiene que ver con cuellos de botella en el eslabón de producción. Casi todos los países involucrados reaccionaron con paquetes de estímulos fiscales que apuntan a fortalecer la posición de sus territorios en este eslabón, a fin de mitigar posibles disrupciones en el futuro.

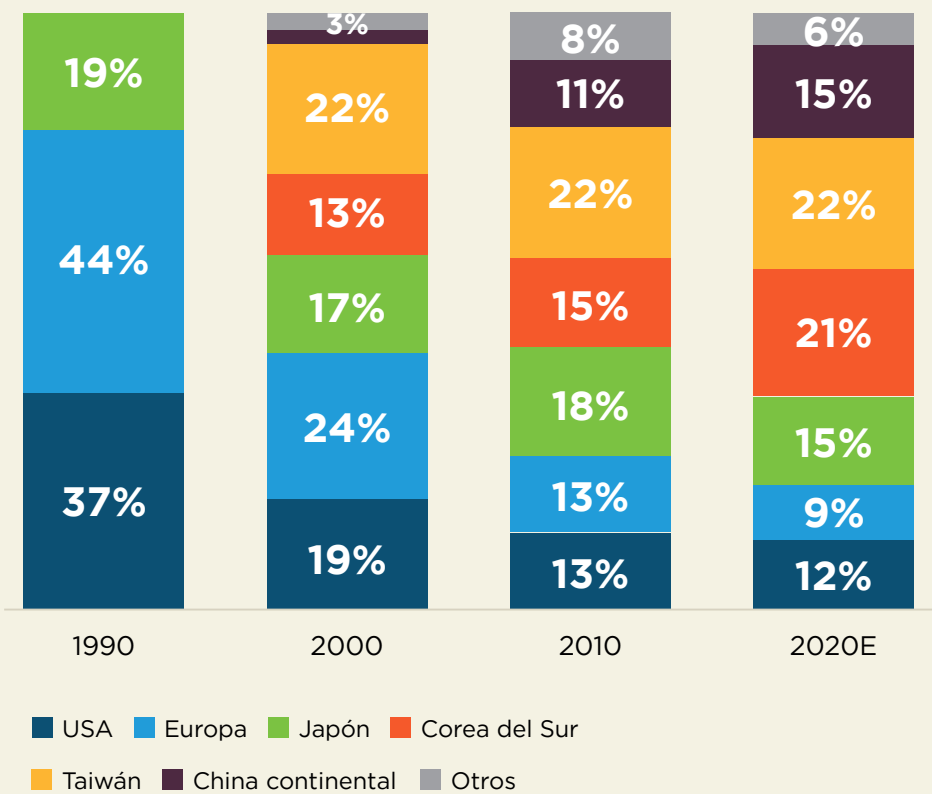
Hoy en día, esas acciones parecen tener sentido, puesto que la capacidad productiva global se encuentra más diversificada. En 1990, sólo tres regiones concentraban la totalidad de la capacidad productiva: Europa (44%), Estados Unidos (37%) y Japón (19%). Treinta años más tarde, la capacidad de producción se expandió a otros países asiáticos (además de Japón), como China, Taiwán y Corea del Sur.

Así, la crisis de insuficiencia de oferta se da en un contexto donde varios territorios compiten por el liderazgo productivo a nivel mundial, o por recuperar sus posiciones perdidas (Europa, Estados Unidos) ante la amenaza del posicionamiento chino. No obstante, tal como señala Calhoun (2021), esta carrera no se trata solo sobre la capacidad cuantitativa, sino también la cualitativa. Anteriormente, en la Parte 1 del documento, se mencionó que los países tienen diversos niveles de especialización de acuerdo a las tecnologías de los chips producidos. De esta manera, el desafío no solo es invertir en capacidad, sino también elegir adecuadamente el nicho en el cual se decidirá la especialización (en caso de haberla). A su vez, al interior de esta división tecnológica, hay diversos niveles de sofisticación (intrínsecamente ligada a las patentes y la relevancia que tiene la inversión en I+D de la cadena).

A modo de ejemplo, Calhoun (2021) señala que la actual capacidad productiva de China está asociada a procesadoras de aproximadamente 12 años por detrás del estándar de la industria para Estados Unidos y países vinculados. Más aún, Varas, et al. (2020) señalan que, aun en caso de concretarse las aspiraciones de inversión de China para la próxima década, el gigante asiático aún estaría una o dos generaciones relegado para el año 2030.

BOX 5 (Continuación)

Distribución porcentual de la capacidad productiva de chips según regiones



Fuente: Varas, *et al.* (2020)

Incentivos de política pública para el sector

Antes de las crisis de abastecimiento casi todos los países con presencia significativa en la cadena global de los semiconductores han venido aplicando políticas para diversificar las actividades de la cadena que se realizan en sus respectivos territorios. En el Apéndice 2 se ahonda en el set de estrategias de política principales de los países y sus posibles implicancias, desde una perspectiva conceptual de mediano y largo plazo.

En general, desde la perspectiva de la política pública, hay consenso en que la intervención lo más aguas arriba posible en los procesos de investigación y desarrollo suele ser lo menos distorsivo y lo más deseable para cerrar las brechas de inversión respecto de lo socialmente deseable. No obstante, los gobiernos suelen disponer de un set mayor de políticas, que incluyen subsidios y exenciones fiscales para inversiones de capital y maquinarias. A su vez, en una cadena tan globalizada, las políticas de comercio resultan de gran relevancia y, si bien los aranceles medios de los productos vinculados a la cadena han ido bajando, también es cierto que esto se dio en paralelo con un aumento de medidas no arancelarias (NTMs) dispuestas al son de las tensiones geopolíticas de los países (OCDE, 2019).

Con la crisis de abastecimiento actual, las respuestas de política se potenciaron con cuantiosos paquetes de estímulo al sector, tanto en países intervencionistas como China como en otros sin una tradición de política industrial como Estados Unidos.

En las líneas que siguen se describen los aspectos centrales de las medidas de los últimos años y las más recientes anunciadas por China, Estados Unidos, Taiwán, Europa y Corea del Sur, como así también por parte de otros países de menor peso, pero con un ecosistema consolidado y de alto potencial como son India, Malasia, Singapur e Israel. La sección concluye con un resumen a modo comparativo de los principales hallazgos y las implicancias para el desarrollo de la cadena.



China

China tiene una dependencia estructural respecto de las tecnologías provenientes de otros países, sobre todo de los Estados Unidos. Para el gobierno chino esto se traduce en un problema de seguridad nacional, que también obstaculiza otros fines como el de consolidar un rol de relevancia en la industria tecnológica internacional. De esta manera, a lo largo de la última década, China ha destinado cada vez más recursos a expandir su rol en la cadena global. La capacidad productiva de China pasó de un 3% en el 2000, a aproximadamente un 15% en 2020. Esto considerando a la porción continental del país; si incluimos a la capacidad de Taiwán, el guarismo sube al 37%, y se espera a que suba a cerca del 50% para 2030, sólo con expansión de capacidad continental (Varas, *et al.* 2020). No obstante, es importante tener en cuenta que la producción china para ese entonces seguirá aún una o dos generaciones relegada respecto de la frontera tecnológica marcada por sus competidores.

Actualmente, el principal programa para el desarrollo de la cadena de semiconductores en China es el Plan *Made In China 2025*, en base al cual el país asiático aspira a llegar a la autosuficiencia hacia 2030. Este plan cubre a diez sectores tecnológicos que China considera clave y a los cuales destinará USD 300 mil millones en un período de diez años. Todos esos sectores tienen, naturalmente, una fuerte dependencia de la cadena de semiconductores.

Antes de *Made in China* se ejecutó una importante lista de acciones que apuntan al desarrollo de la cadena de semiconductores; según SIA (2020), desde el año 2011, los anuncios del gobierno chino en materia de apoyo a la cadena superaron los USD 100 mil millones, mayormente orientados a los dos últimos eslabones de la cadena: fabricación y ensamblaje. De acuerdo con Capri (2020), el objetivo del set de políticas chino es (i) atraer inversiones vía IED, y (ii) incorporar nuevas tecnologías a su matriz de producción.

En 2014, el gobierno chino publicó su Guía para la Promoción de la Industria Nacional de los Circuitos Integrados, también conocido como el Plan IC o el “*China Big Fund*”. Éste incluía fondos por USD 150 mil millones, provenientes de los tres niveles de gobierno (central, provincial y municipal).

El gobierno chino ha financiado de alguna manera a más de 70 fábricas de semiconductores SIA (2020), a través de variados incentivos, que se listan a continuación:

- **Participación de capital.** China tiene dos fondos nacionales que totalizan unos USD 50 mil millones. Aproximadamente dos terceras partes se asignan a la fabricación. De acuerdo con OCDE (2019), los aportes del gobierno chino superan el 30% de los ingresos anuales de los principales fabricantes de chips del país.

► **Incentivos tributarios.**

- Devolución parcial del IVA para compras de equipamiento.
- Exenciones en tasas de importación para equipamiento.
- Exenciones de impuestos corporativos para productores de chips de acuerdo al tamaño del producto.

► **Emplazamiento.** Los gobiernos locales disponen de tierras sin costo (o a bajísimo costo) para el emplazamiento de fábricas.

► **Créditos.** Tasas preferenciales para equipamiento e inversiones.

► **Subsidios.** Los subsidios estipulados en programas como el *Made in China*, focalizados más que nada a la investigación y el desarrollo, suelen estar sujetos a que la producción se realice domésticamente.

Para inicios de 2021, el Consejo de Estado de China actualizó su Guía en lo referente a semiconductores, extendiendo los beneficios existentes. Los renovados incentivos incluyen la exención de impuestos corporativos a 10 años para inversiones en nodos de 28 nm o menos, exención de 5 años para líneas de fabricación de nodos de 28 a 65 nm, exención de 2 años para líneas de fabricación de hasta 130 nm, y exenciones de derechos de importación para la compra de materiales y equipos.

Estados Unidos

Estados Unidos enfrenta una situación en la que su participación en la capacidad global de producción de chips pasó del 37% en 1990 a un actual 12% (ver Box 5). Esto responde a que, en los últimos años, los países asiáticos consolidaron esfuerzos de atraer inversiones, mientras que Estados Unidos no, recostado en el *laissez faire* y su ventaja natural sobre la etapa inicial del proceso productivo (diseño). Frente a la agresiva política de China de cara al autoabastecimiento en 2030, el escenario dinámico luce preocupante para el liderazgo estadounidense, en un contexto de tensiones transnacionales y preocupaciones de seguridad nacional.

Una respuesta a esta situación ha sido la Ley *CHIPS for América*,³⁴ sancionada en 2021, y que espera su reglamentación para desarrollarse como el plan de subsidios más importante de la historia de Estados Unidos, con un fondo de aproximadamente USD 50 mil millones.³⁵ A su vez, el Congreso estadounidense se encuentra también elaborando la Ley de Fabs,



³⁴ CHIPS como sigla para *Creating Helpful Incentives to Produce Semiconductors*.

³⁵ Esto es aproximadamente 100 veces el tamaño que tuvo el *SEMATECH*, entre los ochenta y los noventa. El *SEMATECH* (*Semiconductor Manufacturing Technology*) es un consorcio que nuclea a fabricantes de chips con sus proveedores de equipamiento litográfico, establecido por el gobierno estadounidense en 1987 para competir contra las firmas japonesas en este segmento.

que considera créditos impositivos para la radicación de fábricas en el territorio, pero con la posibilidad de expandir este beneficio también al eslabón de Diseño, dando así una contemplación más abarcativa al ecosistema local de los semiconductores.

Estas leyes, que significan una inusual incursión de Estados Unidos en la política industrial, no cuentan con demasiadas definiciones al momento de la escritura de este reporte. CHIPS se define como un sistema de “créditos impositivos para la inversión en equipamiento y facilidades de producción de semiconductores hasta 2026.”

A su vez, no es menor el hecho de que la Ley excede el mero carácter de política industrial, adquiriendo un cariz geopolítico al establecer una cláusula que estipula la devolución total de los beneficios percibidos por las empresas si éstas iniciaran investigaciones conjuntas o licenciamiento tecnológico con los gobiernos de China, Rusia, Irán o Corea del Norte (Sección 4, Artículo 4).³⁶

Taiwán



Taiwán es el líder mundial en capacidad productiva de semiconductores, con el 22% de la capacidad estimada de 2020. Como tal, y por su posición entre China y Estados Unidos es que ocupa un lugar central en la actual crisis del sector y en las perspectivas de cara a la próxima fase de la cadena.

Para llegar a su relevancia actual en la CGV, la influencia del gobierno taiwanés fue de gran relevancia. Como otros países del este asiático, Taiwán fue un gran receptor de empresas de semiconductores hacia los sesenta, particularmente en el tercer eslabón de la cadena. No obstante, las intenciones del gobierno taiwanés eran que el país pasara de un país con operaciones de bajo valor agregado a uno con presencia de actividades de alto valor. Es por eso que tempranamente, en 1973, funda el *Industry Technology Research Institute* (ITRI), que ha tenido un rol clave en la innovación de las actividades del país, más allá de la cadena de los semiconductores. En 1974, con foco en la investigación y el desarrollo en la cadena, el gobierno crea también la *Electronics Research and Service Organization* (ERSO).

En 1980, como derivación de estas dos instituciones, nace *United Microelectronics Corporation* (UMC), la primera empresa de semiconductores de origen taiwanés. Ese mismo año, se inaugura también el *Hsinchu Science Industrial Park* (HSIP), siguiendo el diseño del Silicon Valley, con cercanía a grandes centros de generación de conocimiento, y enmarcado en un conjunto de políticas de soporte para la instalación de empresas tales como deducciones impositivas para gastos en I+D, préstamos a tasa subsidiada, exenciones para exportación, entre otros. El HSIP jugó un rol decisivo en la “repatriación” de trabajadores altamente calificados que habían emigrado a los Estados Unidos (Rasiah, *et al.* 2016).

³⁶ Ver <https://www.congress.gov/bill/116th-congress/house-bill/7178/text>

El sostenimiento de esta línea de política llevó a que Taiwán pase de ser un “ensamblador” a un territorio donde todos los eslabones de la cadena tiene presencia, pero con foco en el diseño de dispositivos y en la fabricación de *wafers* (SIA, 2016), eslabón este último para el cual el gobierno ofrece subvenciones y ayudas fiscales que pueden alcanzar hasta el 30% del costo total de la inversión (ver Apéndice 2), lo cual lo posiciona en el podio de los países con más incentivos para este eslabón. En la actual ola de anuncios al respecto, Taiwán pretende mantener estos beneficios, y reforzar por sobre todo sus políticas de atracción de talento, a fin de no perder su lugar de liderazgo.³⁷

Europa (UE)

El fuerte compromiso que el Gobierno chino parece tener con lograr un liderazgo global en la cadena de semiconductores no solo ha preocupado a los Estados Unidos. La Comisión Europea tendrá, para este 2022, su propio conjunto de incentivos a la cadena a través de la Ley Europea de Chips.

Europa es la región que más se ha “relegado” en la carrera por la capacidad productiva de chips. En 1990, el continente ostentaba el 44% de la capacidad productiva global, mientras que en 2020 su participación cayó a debajo del 10%. En parte esto se explica porque Europa ha apostado a hacerse fuerte en el segmento de provisión de módulos de propiedad intelectual para el eslabón de Diseño (que se encuentra mayormente concentrado en Estados Unidos), así como también en la fabricación de cierto equipamiento específico para las fábricas (mayormente ubicadas en Asia). No obstante, ante la situación de la crisis ocasionada por la escasez de semiconductores, la UE ha mostrado interés en empezar a recuperar peso en la capacidad de fabricación de chips, y apunta con su nuevo programa a duplicar su actual participación en diez años, llegando al 20% de la capacidad global para 2030 (UE, 2022). Naturalmente, se aspira no solo a cantidad, sino también a calidad, de manera que se espera dirigir inversiones hacia chips de última generación. Se espera que el fondo específico alcance los € 20-30 mil millones para 2030, una cifra importante pero bastante menor a la anunciada por Estados Unidos y muy debajo de la planeada por China. No obstante, se espera que haya complementación de beneficios por parte de ciertos países fuertes en la cadena (Alemania, Francia) y del *European Investment Bank* (EIB).

La Ley intentará ser abarcativa de toda la cadena, procurando también una estrategia europea de I+D. También se deja constancia del entendimiento del carácter global de la cadena, por lo que la estrategia consideraría reforzar flancos débiles que a entender de la Comisión existen en Europa, pero siempre en un marco de cooperación internacional.



³⁷ Para más detalles ver <https://www.businesstimes.com.sg/government-economy/taiwan-dangles-incentives-to-boost-global-chipmaking-lead>

Los detalles de la Ley se definirán con la participación activa de la recientemente creada (Julio de 2021) Alianza Industrial de Tecnologías de Semiconductores y Procesadores. A modo de mesa sectorial, participan en la Alianza representantes de la industria de semiconductores, de las industrias electrónicas, así como del sector académico vinculado. El objetivo del cuerpo es fortalecer el ecosistema europeo de diseño de electrónicos y establecer los requerimientos en materia de capacidad industrial.³⁸

Al interior de la Unión Europea, Alemania es el principal país para la CGV de los semiconductores, a pesar de que la francesa *SOITEC* (con una estructura integrada) es la principal empresa europea de la cadena. Fuera de estos países, poco queda para el resto, que operan más bien como subsidiarios de la estrategia europea en materia de semiconductores. En este marco, y a la luz de la actual crisis, los países de Europa del Este han cobrado cierta notoriedad como posibles candidatos para la atracción de inversiones en sus territorios (mayormente para ensamblaje y testeo). El acuerdo firmado por los países de la UE en esta materia incluye a Bélgica, Croacia, Estonia, Finlandia, Grecia, Italia, Malta, los Países Bajos, Portugal y Eslovenia. A su vez, otros países (Eslovaquia, República Checa y Lituania) se encuentran en conversaciones con Taiwán para establecer una posible relación de cooperación.

Corea del Sur

Junto con Taiwán, Corea es hoy uno de los líderes en capacidad productiva, con una participación global del 21%. De manera más específica, el país es el líder absoluto en el segmento de las tarjetas de memoria, ostentando un share de mercado superior al 60%.³⁹ Como en los restantes países analizados, la actual crisis desató inquietudes también para el gobierno coreano, quien se plantea de cara a 2030 con la intención de consolidarse en el segmento de tarjetas de memoria, pero apuntando también a una posición más diversificada en la cadena.

La estrategia coreana (K-semiconductor strategy) se presenta como una de fuerte integración público-privada, y el desembolso esperado a 2030 escala a más USD 400 mil millones, incluyendo a los planes de los gigantes nacionales, como Samsung y SK Hynix. En este marco, el gobierno coreano planea medidas específicas, tales como:

- Deducciones impositivas para I+D y para inversiones de capital/equipamiento.

³⁸ Para más detalles ver, https://ec.europa.eu/growth/industry/strategy/industrial-alliances/industrial-alliance-processors-and-semiconductor-technologies_en

³⁹ Esta concentración en este segmento se dio porque este fue el nicho que las empresas en Corea encontraron como oportuno desarrollar hacia finales de los ochenta. Previo a ello, la industria semiconductora en Corea operaba como subsidiaria de Estados Unidos, mayormente focalizada en el eslabón de ensamblaje (trabajo intensivo). A diferencia de otras industrias en Corea, el desarrollo de este segmento no fue coordinado por el Estado, sino de manera autónoma por parte de las empresas del sector (Kim y Kim, 2006).

- Créditos a tasas subsidiadas para inversiones.
- Medidas de infraestructura; se han anunciado planes para expandir y asegurar el acceso a agua potable y energía.

India

La India tiene una poderosa industria electrónica que ha arrastrado un paulatino desarrollo de la cadena de semiconductores en el territorio, mayormente focalizada en el diseño de los dispositivos que finalmente serán consumidos por la industria electrónica local. Este fortalecimiento del diseño de sistemas electrónicos es un objetivo de gobierno que lleva más de una década de consolidación de incentivos para la inversión extranjera directa, promoción de exportaciones, desarrollo de capital humano y el desarrollo de infraestructura requerida por los parques de producción de dispositivos electrónicos.⁴⁰



Este ecosistema de diseño y fabricación de electrónica se vio afectado negativamente por la actual crisis de desabastecimiento del sector, debido a que India se abastece de chips que provienen de Estados Unidos, Japón, Taiwán y China. Ante esto, el gobierno indio decidió redireccionar sus esfuerzos de política hacia la atracción de inversiones en el eslabón de fabricación. En este marco es que se anunció un plan de incentivos en el orden de los USD 10 mil millones, el cual incluye financiamientos superiores al 50% del costo de capital de los proyectos elegibles, dentro de los cuales se cuentan a las principales firmas de la industria.⁴¹ La primera gran inversión anunciada en este marco ha sido la de la minera india *Vedanta Limited*, con un *joint venture* con la taiwanesa *Foxconn* para la producción de semiconductores en India.

Complementando, el grupo local Tata Group ha anunciado planes por USD 300 millones para una planta de ensamblaje y testeo.⁴²

Malasia

Malasia es uno de los países con más historia en la cadena de valor de los semiconductores, contando con operaciones de empresas como *Intel*, *AMD*, *Texas Instruments*, *Hitachi*, *Motorola* y *Siemens* desde temprano en la década de los '70. Hacia los '90, los nuevos jugadores globales (*Infineon*, *STMicro*, entre otros) radicaron también operaciones en el país. En este proceso, el gobierno entendió desde temprano la naturaleza estratégica de la cadena de valor de los semiconductores, fundando en 1985 el *Malaysian Institute of Microelectronics*



⁴⁰ Ver https://www.meity.gov.in/sites/upload_files/dit/files/Esdm_Policy.pdf

⁴¹ Ver <https://techwireasia.com/2022/01/india-ambitious-plans-to-be-a-global-semiconductor-hub/>

⁴² Tata Group es un conglomerado indio de casi 100 empresas en siete sectores económicos. El rubro de semiconductores y electrónica, entonces, es uno más entre otros como la energía, los servicios, los químicos, y las comunicaciones.

Systems (MIMOS) para apoyar las actividades de I+D de las empresas de la cadena y que, hacia los noventa comenzó a formar parte productiva de la cadena, con la incubación de una planta de fabricación de obleas semiconductoras. En esa época, el gobierno malasio estructuró sus esfuerzos de desarrollo de la cadena en su Plan de Acción para el Desarrollo Industrial de Tecnología (APITD, por sus siglas en inglés). Desde entonces, el gobierno ha desarrollado parques de producción y también ha implementado diversos esquemas de facilidades y subsidios para la instalación de empresas (Rasiah y Shan, 2016a). Así, el ecosistema de Malasia engloba la presencia de firmas en todos los eslabones de la cadena, a pesar de que su importancia relativa en el mercado global ha ido decreciendo en el tiempo frente al fortalecimiento de otras localizaciones. Actualmente, el país se especializa en el eslabón de ensamblaje y testeó.

En la crisis de desabastecimiento, el cierre (temporal) de fábricas en Malasia jugó un rol no menor, particularmente en la ola de finales de 2021 vinculada a la variante Delta del Covid-19, que afectó fuertemente a Malasia.⁴³ Con todo, el territorio sigue siendo un fuerte atractor de inversiones en el contexto actual: Intel ha anunciado una nueva planta de ensamblaje y testeó, y el país tiene relaciones abiertas de cooperación con Estados Unidos y Taiwán, revalorizando su rol estratégico.⁴⁴ El gobierno no ha anunciado planes en la línea de otras naciones, pero se mantiene en su activo rol de fomento en la cadena con los instrumentos de política ya vigentes.

Singapur



Singapur, que en algún momento fue nombrada como una “isla de silicio en el este” (Matthews, 1999), es un caso similar al de Malasia, al menos en sus inicios. Con el florecimiento de la industria de los semiconductores, hacia los años setenta Singapur fue uno de los países elegido por las multinacionales para desarrollar operaciones: *TSMC*, *Texas Instruments*, *American Microsystems*, *Motorola*, *National Semiconductor*, entre otras, instalaron facilidades de producción en el país. Particularmente de la mano de empresas taiwanesas, Singapur llegó a ser el principal exportador de semiconductores del mundo (Rasiah, R y Xiao Shan, 2016b).

También como en Malasia, el gobierno buscó tener un rol activo en la promoción de inversiones en el territorio. En el caso de Singapur, el organismo designado para encabezar esto fue el *Economic Development Board* (EDB). Particularmente desde la década del ochenta, el EDB encaró una estrategia de financiamiento de inversiones para el diseño y fabricación de chips en territorio local. También se apoyó el desarrollo de talento para la industria.

⁴³ Ver <https://www.bloomberg.com/news/features/2021-12-06/how-the-global-chip-shortage-led-to-covid-tragedy-for-one-malaysian-town>

⁴⁴ Ver <https://asiatimes.com/2021/12/big-chip-and-tech-investment-pouring-into-malaysia/>

Actualmente, Singapur cuenta con operaciones en diversos eslabones de la cadena de todas las empresas relevantes en la cadena global de valor, y algunas nacionales. Es uno de los países con mayor apoyo estatal a las inversiones de manufactura de la cadena, incluyendo beneficios tales como el otorgamiento de tierras sin costos, financiamiento de capital y de costos operativos, así como deducciones impositivas (ver Apéndice 2).

Israel

Si bien una de las características intrínsecas de la CGV de los semiconductores es su globalización, se da también que es una industria que demanda de la presencia de un ecosistema consolidado en los territorios donde desarrolla sus diversas tareas. En este sentido, Israel, líder mundial en inversión en I+D sobre el PIB, se ha constituido como un polo tecnológico-científico que ocupa un rol clave en el escenario global, y en esto el gobierno jugó un rol decisivo. Si bien no de la magnitud de los jugadores principales de la cadena, el gobierno israelí destina amplios incentivos a los proyectos de fabricación de semiconductores en su territorio (ver Tabla 3, Apéndice 2). El país también tiene amplia presencia en el eslabón de ensamblaje, testeó, y por sobre todo es muy prolífico en lo que refiere al eslabón de diseño y sus actividades asociadas. *Apple*, *Facebook*, *Google* y otras empresas están desarrollando sus diseños en este país, donde otros gigantes de la industria, como *Intel*, tienen ya larga trayectoria de operación.⁴⁵



La actual crisis encuentra a Israel en una situación compleja, a la luz de las implicancias de las tensiones entre Estados Unidos y China. Las relaciones de Israel con Estados Unidos son sólidas, y el rol de gigantes estadounidenses como *Intel* es decisivo en ello. A su vez, China se ha constituido como el segundo socio comercial de Israel, y los semiconductores son una parte crucial de esta relación. En su carrera por lograr un rápido *catch up* en la industria, China ve en Israel una oportunidad de adelantar algunos casilleros, aprovechando su profundo ecosistema de innovación. Desde luego, esto ha desatado tensiones con Estados Unidos, que abiertamente ha manifestado su preocupación sobre la relación entre China e Israel.⁴⁶

Resumen e implicancias

Resulta relevante destacar que, hasta la crisis de abastecimiento, excepto China, ningún país tenía políticas orientadas verticalmente al sector de los semiconductores (OCDE, 2019). En tiempos recientes, y como reacción a la crisis y las tensiones geopolíticas, todos los países o regiones relevantes para la cadena anunciaron paquetes fiscales de estímulo al eslabón de fabricación, que es el cuello de botella que dio lugar a la actual crisis, pero no necesariamente el determinante de la estructura futura de la cadena a escala global.

⁴⁵ Para más detalles ver, <https://en.globes.co.il/en/article-israel-seen-as-major-player-as-global-chip-war-intensifies-1001366716>

⁴⁶ Ver <https://thediplomat.com/2020/11/israeli-semiconductors-and-the-us-china-tech-war/>

Con paquetes de diferentes dimensiones (Tabla 3), los países han coincidido en la entrega de estímulos fiscales (sea con subsidios y/o incentivos tributarios) para reducir el costo de capital de las inversiones en capital físico propias del eslabón de fabricación, pero intentando cubrir también erogaciones en materia de I+D.

Tabla 3. 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	<ul style="list-style-type: none"> - Participación de capital - Incentivos tributarios - Otorgamiento de terrenos - Créditos subsidiados - Subsidio a la I+D 	<i>Frontend y Diseño</i>
Estados Unidos	USD 52	2026	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 y Diseño</i>
Unión Europea	~ USD 30	2030	El paquete no está definido al momento de escribir este informe, pero se pretende subsidiar inversiones y generar espacios de coordinación.	<i>Frontend y Diseño</i>
Corea del Sur	USD 400*	2030	<ul style="list-style-type: none"> - Deducciones impositivas para I+D - Crédito subsidiado - Infraestructura 	<i>Frontend y Diseño</i>
India	USD 10		- Cofinanciamiento de inversiones	<i>Frontend</i>

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

Fuente: Elaboración propia en base a diversas fuentes

No obstante, el enfoque difiere bastante entre los países. Así, mientras Europa apunta a una visión aún integrada y resiliente de la cadena global de valor, China y Estados Unidos tienen propuestas fuertemente condicionadas por las tensiones geopolíticas reinantes, lo cual descuida el objetivo agregado de eficiencia y de la salud global de la cadena. Corea, por su parte, tiene una visión nacionalista, pero con una fuerte integración a su sector privado, en lo cual coincide con Europa. En estos casos, la política resultante pretende tener una fuerte injerencia del sector privado, a diferencia del caso chino, donde el camino se encuentra trazado por planes específicos dictaminados por el gobierno, aún a costa de sacrificar eficiencia agregada.

Finalmente, algunos autores como Calhoun (2021) se muestran escépticos respecto del poder de fuego de estos paquetes, sobre todo al compararlo con las inversiones privadas proyectadas por las principales empresas en los próximos años. Incluso ante planes descomunales como el de China (USD 180 mil millones), u otros sin antecedentes como el de Estados Unidos (USD 52 mil millones), los montos parecen insignificantes a la par de los programas de inversiones para los próximos años de al menos las siguientes compañías (Calhoun, 2021):

- ▶ Inversión propuesta de *Intel* en Europa en los próximos 10 años: USD 95 mil millones, a lo que se agrega las recién iniciadas inversiones de la empresa en Estados Unidos (Arizona y Ohio, sumando USD 40 mil millones).
- ▶ Planes de gastos de *Micron* en la próxima década: USD 150 mil millones.
- ▶ Inversión propuesta de *Samsung* para los próximos tres años: USD 205 mil millones.
- ▶ *SK Hynix* gastará USD 97 mil millones en la expansión de sus instalaciones de fundición existentes, además de los USD 106 mil millones prometidos anteriormente para cuatro nuevas plantas.
- ▶ Inversión de *TSMC* en los próximos tres años: USD 100 mil millones

Adicionalmente, tampoco resulta obvia la capacidad de los gobiernos de *dirigir* las inversiones del sector en un contexto de inminente disrupción tecnológica, considerando las demoras burocráticas para responder a una crisis que “ya ha encontrado su situación de manera privada” (Calhoun, 2021).

¿Significa lo anterior que los gobiernos no deben inmiscuirse en la cadena de valor? No. Pero, como se señala en el Apéndice 2, las intervenciones deben procurar siempre subsanar fallas de mercado. Así, la respuesta a la crisis debe ser más que una mera reacción coyuntural, sino que debe conllevar un análisis de la situación actual y perspectivas futuras, a fin de lograr mejoras en la resiliencia de la cadena y la posición de cada país en ella.

Conclusiones

Conclusiones

Este documento presenta una descripción de la cadena global de valor de semiconductores desde las perspectivas del contenido tecnológico de la producción, los modelos de negocios y su distribución geográfica, que sirve como antecedente para contribuir al entendimiento de la crisis global de abastecimiento de semiconductores presente desde el inicio de la pandemia, y las medidas que se tomaron tanto en el ámbito del sector público como privado frente a la misma.

La Primera Parte del trabajo presenta un análisis detallado de la cadena de valor de los semiconductores y sus sectores asociados. También se realizan consideraciones sobre los matices que imprimen a la cadena las diferentes tecnologías de chips, de diversa complejidad, pero todas necesarias para el montaje de cualquiera de los dispositivos electrónicos que hacen a nuestra vida diaria. La cadena de valor a nivel global tiene varias características que la vuelven única, y cuya consideración es menester a la hora de pensar en acciones de política sobre ella. Dentro de las principales características, se destacan las siguientes:

- Se trata de una cadena de valor de creciente dispersión geográfica, donde cada zona se ha ido especializando en ciertos eslabones de la cadena, de acuerdo a ventajas comparativas. Dicho eso, existen segmento muy sofisticados y muy concentrados, con unas pocas empresas proveedoras a nivel mundial, y otros relativamente menos sofisticados que han podido expandirse geográficamente.
- A su vez, ningún país tiene un potencial cierto de lograr “autoabastecimiento”.
- Con el tiempo, la cadena ha pasado de una estructura de mercado de empresas integradas (IDMs) a una de especialización (donde distintos modelos de negocios se especializan en cada uno de los tres eslabones centrales de la cadena). Este proceso se dio en paralelo con uno de fuerte concentración (mayormente a fuerza de fusiones y adquisiciones) en la mayoría de los sectores.

- ▶ Cada eslabón reviste ciertas particularidades de intensidad de recursos: el eslabón de diseño es conocimiento-intensivo, mientras que los de fabricación y ensamblaje son más capital-intensivos; por su parte, la etapa de ensamblaje es la más trabajo-intensiva de las tres.
- ▶ A nivel agregado, la cadena tiene la particularidad de que destina una proporción sobre venta a I+D casi tan alta como la destinada a inversiones físicas. En ambos casos, se trata de montos elevados respecto de otras cadenas.

Estas particularidades de la cadena determinan ciertas vulnerabilidades a eventos nocivos externos (como desastres naturales o la actual pandemia) o tensiones geopolíticas que ponen en jaque a su resiliencia.

A la luz de la crisis de exceso de demanda que sufre el sector, debido al inusual crecimiento en la demanda que surgió a raíz de la pandemia y las rigideces en la expansión de la oferta en el eslabón de producción, la Segunda Parte del documento se enfoca en el análisis de las causas de la crisis de abastecimiento que afecta al sector y las respuestas de política de los países a esta situación.

Prácticamente todos los países involucrados en la cadena han anunciado paquetes fiscales de relevancia a fin de ayudar en la crisis y redefinir el rol de sus territorios de cara a la próxima década. La coincidencia se da en que todos apuntan, en mayor o menor medida, al eslabón causante del *shortage*, el de fabricación.

Ante ello, se plantean interrogantes respecto de si el foco y la magnitud de estos programas son consistentes con la premisa de subsanamiento de fallas de mercado que debiera ser la motivación principal de la política pública en la cadena.

Queda pendiente avanzar en un análisis de identificación de oportunidades y limitantes para un mayor desarrollo exportador e inserción de esta industria en las Cadenas Globales de Valor en las que participa México.

¿Cuáles son las capacidades que tiene México para insertarse en la cadena de valor de los semiconductores? ¿En qué etapas del proceso productivo? ¿Por qué? ¿Cuáles son los desafíos de investigación a futuro? ¿Cuánto exporta hoy? ¿Quiénes? ¿Qué insumos importan? ¿Qué empresas fabrican esos insumos localmente y podrían ser proveedores? ¿Qué tipo de políticas públicas, capacidades institucionales, e instrumentos de apoyo a la I+D y a la formación de capital humano serían necesarios?

Responder a esas preguntas no es una tarea sencilla, y formará parte de una siguiente etapa del trabajo. A modo preliminar se logró acceder a procesamientos de datos administrativos para comenzar a abordar algunas de esas preguntas.

En base a un procesamiento *ad hoc* de datos de Panjiva, en 2020 empresas de 9 Estados (Baja California, Chihuahua, DF, Estado de México, Guanajuato, Jalisco, Nuevo León, Tamaulipas y Zacatecas) exportaron semiconductores, con el 98,5% de las mismas destinadas a Estados Unidos. De esos envíos al país vecino, el 83% provenía de Chihuahua y Baja California.

Al considerar los bienes intermedios que importan las principales exportadoras, se detectaron 76 partidas arancelarias relevantes. Como paso inicial para identificar la capacidad de producción de insumos en México se recurrió a dos fuentes independientes de información. Por un lado, según datos del DENU, para las 32 ramas SCIAN que producen los insumos identificados, se encontró que existen 1.676 unidades económicas que pueden proveer insumos para la fabricación de semiconductores en México. Más de dos tercios de esas empresas se ubican en siete estados (Nuevo León, México, Baja California, Ciudad de México, Jalisco, Guanajuato y Chihuahua). Otro camino fue identificar con información de cintas de aduana empresas que exportan, aunque no necesariamente producen, esos insumos, a partir de lo cual se detectaron 9.546 empresas en esa condición.

Entre las empresas de mayor relevancia en México, se destacan Intel, con un centro de diseño con más de 1200 ingenieros en Guadalajara y USD 100 millones de inversiones anuales, que inició actividades a inicios de siglo, y *Skyworks Solutions*, con casi 50 años de presencia en Mexicali Baja California, que cuenta con una planta de ensamblaje, testeó y embalaje que ocupa a más de 6,000 empleados altamente calificados y demandó una inversión acumulada de USD 1500 millones. También en el eslabón de *backend*, México cuenta con plantas de *Texas Instruments* e *Infineon*, la líder mundial en ventas de semiconductores al sector automotriz.

Entre las capacidades disponibles para México desde el sector público, se destaca el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), dependiente del CONACYT, que cuenta con 147 investigadores con doctorado, 22 desarrolladores de tecnología y cerca de 50 técnicos de soportes a actividades de I+D.

Con capacidades probadas en Diseño y *backend*, más una ubicación geográfica privilegiada, México puede beneficiarse ante la reciente ola de inversiones en plantas de semiconductores que está ocurriendo en los Estados Unidos. Queda el desafío de identificar el mix de políticas apropiado para potenciar las capacidades del país para que sea posible aprovechar esas oportunidades al máximo.

Bibliografía

ASE (2021). Visualizing The Global Semiconductor Supply Chain, <https://www.visualcapitalist.com/visualizing-the-global-semiconductor-supply-chain/>

ASML (2021). Annual Report 2020, extraído de Statista

Banxico (2021). “Estimación del Impacto de las Disrupciones en el Suministro de Insumos sobre la Producción Automotriz y la Actividad Económica” Informe Trimestral, Abril-junio 2021 <https://www.banxico.org.mx/publicaciones-y-prensa/informes-trimestrales/recuadros/%7B11972BoF-38F8-F301-76C5-1AC6C404CoCo%7D.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.

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

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) White Paper. Oportunidades de Desarrollo de Semiconductores para México. Marzo.

Kimm J. & Kim, E. (2006). Erosion of A Developmental State: A Case Study of South Korea's Semiconductor Industry. *International Studies Review* Vol. 7 No. 2 (October 2006): 37-59.

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

KPMG (2021). Global Semiconductor Industry Outlook 2021, <https://advisory.kpmg.us/articles/2021/global-semiconductor-industry-outlook-2021.html>

Mathews, J. A. (1999). A Silicon Island of the East: Creating a semiconductor industry in Singapore. *California Management Review*, 41(2), 55-78.

McKinsey (2017). Mobility Trends: What's ahead for automotive semiconductors (April)

McKinsey (2021). Quantum Computing: An Emerging Ecosystem and Industry Use Cases, <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/quantum-computing-use-cases-are-getting-real-what-you-need-to-know>

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

OECD. (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)

Power&Beyond (2020). Semiconductores: a comprehensive guide. Recuperado de: https://www.power-and-beyond.com/semiconductors-a-comprehensive-guide-d-42597/?cmp=go-ta-art-trf-PuB_DSA-20210801&gclid=CjwKCAiA5t-OBhByEiwAhR-hmoYMSdXkf74iWcSs9--zYwOoEoEcscE_fpP7JbA3hAo1HGA1-iyCcRoCAHIQAvD_BwE

Rasiah, R., & Xiao Shan, Y. (2016a). Institutional support, regional trade linkages and technological capabilities in the semiconductor industry in Malaysia. *Asia Pacific Business Review*, 22(1), 165-179.

Rasiah, R., & Xiao Shan, Y. (2016b). Institutional support, technological capabilities and domestic linkages in the semiconductor industry in Singapore. *Asia Pacific Business Review*, 22(1), 180-192.

Rasiah, R., Shahrivar, R. B., & Yap, X. S. (2016). Institutional support, innovation capabilities and exports: Evidence from the semiconductor industry in Taiwan. *Technological Forecasting and Social Change*, 109, 69-75.

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>

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

Trendforce (2021a). 3Q21 Revenue of Global Top 10 IC Design (Fabless) Companies Reach US\$33.7 billion (December 16) Entertainment Close-up.

Trendforce (2021b). Foundry Revenue Projected to Reach Historical High (April 21) Entertainment Close-up.

Trendforce (2021c). Global OSAT Revenue for 3Q21 Reaches US\$8.89 Billion (November 23), datos extraídos de Statista.

European Union (2022). A Chips Act for Europe. Communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions. Recuperado de: <https://ec.europa.eu/newsroom/dae/redirection/document/83086>

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

Xignite (2021). Top 100 Companies Worldwide: Semiconductors (May 28), extraído de Statista

Apéndice 1. Tecnologías de la cadena de semiconductores: Descripción y mercados

Este Apéndice, que sigue de cerca el trabajo de Kleinhans y Baisakova (2020), presenta mayores detalles sobre los mercados de los principales segmentos dentro de la categoría de **circuitos integrados** (digitales y analógicos) que es, en definitiva, el foco central de este documento.

Tarjetas Lógicas: arquitecturas de procesamiento

Este grupo de semiconductores es entendido como el “cerebro” de las computadoras, debido a que constituyen una arquitectura de procesamiento a partir de código binario capaz de ejecutar operaciones computacionales complejas a partir de las instrucciones almacenadas en las tarjetas de memoria (ver más adelante).

Aquí se incluyen a las unidades centrales de procesamiento (*CPUs*), las unidades de procesamiento gráfico (*GPUs*) y los procesadores de aplicaciones (*APs*). También existen estructuras que no requieren instrucciones fijas, sino que éstas pueden ser programadas por el usuario (un ejemplo son los *Field Programmable Gate Arrays*, *FPGAs*).

Antes de desarrollar un procesador lógico, debe decidirse la arquitectura del set de instrucciones (*ISA*) en la cual estará basada. En este sentido, un rasgo interesante es que las *ISA* más utilizadas a nivel global son propiedad de unas pocas compañías, según los distintos tipos de dispositivos que hay en el mercado.

X86: ordenadores y servidores

Casi la totalidad de las laptops y computadores de escritorio tienen una *CPU* basada en una *ISA* x86. Las patentes para la producción de este tipo de arquitecturas para *CPU* son propiedad de solo tres empresas, dos estadounidenses (*Intel* y *AMD*) y una taiwanesa (*VIA Technologies*). Esto tiene fuertes implicancias de mercado, ya que los softwares son diseñados para ejecutar específicamente sobre una arquitectura concreta. Dado que la gran mayoría de los ordenadores del planeta están basados en x86, es difícil para los competidores lograr convencer a los desarrolladores de software el invertir recursos en un mercado incierto. De aquí la fuerte interdependencia entre, por ejemplo, *Microsoft* e *Intel*, desde el desarrollo de *Windows* en los ochenta.

Así, el mercado global se encuentra básicamente cautivo por dos empresas estadounidenses, lo cual ha disparado la reacción de China por tener sus propias alternativas, al menos para

su mercado. Esto dio lugar a la existencia de un *joint venture* entre la Municipalidad de Shanghai y la taiwanesa *Via Technologies*, que cuenta con una patente; *Zhaoxin* está produciendo procesadores que, aun estando varias generaciones por detrás de los producidos por *Intel* y *AMD*, ya son comercializados en ordenadores *HP* en China desde 2020.

ARM: teléfonos móviles

La arquitectura dominante para dispositivos móviles como los teléfonos celulares, las tabletas y los dispositivos *IoT* (Internet de las Cosas) en general es la ARM. Esta ISA fue desarrollada por la británica *ARM Limited*, la cual fue comprada por *SoftBank* (Japón) en 2016. La diferencia entre *ARM Limited* en su mercado y *AMD* e *Intel* en el mercado de los procesadores para computador, es que su producto no es el procesador manufacturado, sino la “receta” con propiedad intelectual (*IP*) para que otras empresas como *Apple* o *Samsung* puedan diseñar sus propios procesadores.

A pesar de esto, el resultado general acaba siendo bastante similar al escenario del mercado de computadores: los principales softwares de los móviles (*Android* y *iOS*) están desarrollados en base a una *ISA* cuya propiedad intelectual pertenece a una única compañía.

Lo notable de esta infraestructura es que tiene potencial fuera del mercado de los móviles, y *Apple* ya ha anunciado que empezará a desarrollar *CPUs* basados en *ARM* para sus laptops.

ASICs: machine learning e inteligencia artificial

Los circuitos integrados para aplicaciones específicas (*ASICs*) se diseñan específicamente para determinadas tareas. Hoy, una de las principales vetas de expansión son las tareas de inteligencia artificial, como por ejemplo el reconocimiento facial. Estos chips para tareas específicas son luego incluidos en, por ejemplo, smartphones u otros dispositivos.

Como la inteligencia artificial se encuentra en un fuerte proceso de expansión, no hay aún una tecnología dominante para estos circuitos, y hay más de 100 empresas que realizan diseño de este tipo de semiconductores.

Tarjetas de Memoria

Las tarjetas de memoria almacenan información necesaria para desempeñar cualquier tarea computacional. Se trata de mercados altamente concentrados, debido a su característica de commodities con economías de escala en la producción. Las empresas que dominan la producción tienden a operar de manera integrada, cubriendo casi todos los eslabones de la cadena ellas mismas. Existen dos tipos de tecnologías de tarjetas de memoria dominantes.

DRAM: Memoria de “corto plazo”

Todo dispositivo computacional necesita memoria *DRAM* donde almacenar, de manera temporaria, la información que está siendo procesada en un determinado momento. Naturalmente, asociamos estas funciones a los ordenadores personales, pero también se encuentran presentes en móviles y la mayor parte de los vehículos modernos.

Se trata de un segmento que se ha concentrado mucho en el último tiempo. En 2005, con un mercado de USD 25 mil millones, las ocho principales empresas concentraban el 97% del mercado. En 2019, el volumen de mercado creció a USD 63 mil millones, y el 95% es dominado por tres empresas: *Samsung* y *SK Hynix*, ambas de Corea del Sur, y *Micron* de Estados Unidos.

En términos de mercado, las *DRAM* se comportan como una *commodity*. A su vez, su producción demanda elevados montos de inversión que operan como barreras a la entrada de nuevos competidores y que llevaron a la concentración antes expuesta, lograda a base de fusiones y adquisiciones en los últimos quince años. Se trata de un sector que ha estado bajo la lupa de los organismos antimonopolio en ese tiempo.⁴⁷

China tiene intenciones de ingresar en este mercado, para morigerar su dependencia de chips extranjeros. Así, en 2016 aparece la *Fujian Jinha Integrated Circuit Company (JHICC)*, la cual se vio afectada por restricciones de exportaciones por parte del Departamento de Comercio de Estados Unidos, a causa de actividades de espionaje en la estadounidense *Micron*. La otra empresa China intentando competir (con tecnología alemana) es *CXMT*, pero sus productos están varias generaciones por detrás de los de las líderes.

NAND: Memoria de “largo plazo”

A diferencia de las *DRAM*, las memorias *NAND* no requieren de energía para almacenar datos, por lo que son utilizadas para almacenamiento permanente (discos sólidos *SSD* o tarjetas *SD* son ejemplos).

En 2019, el mercado de *NANDs* tenía un volumen de USD 46 mil millones, y tiene un grado de concentración bastante menor que el de las *DRAM*. El mercado está esencialmente bajo el control de seis empresas: *Samsung* y *SK Hynix* (Corea), *KIOXIA* (Japón), y *WDC*, *Micron* e *Intel* (Estados Unidos). No obstante, China también pretende jugar fuerte aquí, a través de *YMTC*, fundada en 2016.

⁴⁷ En 2020 las fusiones y adquisiciones en la industria global de semiconductores fueron valuadas en un récord de USD 118 mil millones, superando el máximo anterior de 107,7 mil millones alcanzado en 2015 (Gartner, 2021).

En cuanto a la estructura general, se repite lo mismo que en las *DRAM*, el producto se comporta como un *commodity* con economías de escala en la producción, lo cual genera barreras al ingreso.

Componentes Analógicos: el vínculo con el mundo físico

Estos chips transmiten, reciben y transforman información, no a través de ceros y unos como los chips digitales, sino interactuando con el mundo físico.

La fabricación de este tipo de semiconductores demanda inversiones mucho más bajas que la de los circuitos digitales, como las tarjetas lógicas y de memoria, debido a su menor complejidad relativa. Aquí, lo relevante no es estar siempre en la frontera tecnológica, sino el “conocimiento de campo” de los clientes a los que sirven: los circuitos analógicos son diseñados para tareas específicas en mercados específicos. Así, es bien distinto el know-how necesario para la producción de un chip que conduzca un motor eléctrico del requerido para un semiconductor que permita captar ondas de radio.

Se trata, por tanto, de un mercado muchísimo menos concentrado que el de circuitos digitales. No obstante, el top 10 de empresas se ve dominado por compañías estadounidenses y europeas.

Apéndice 2. El rol de la política pública en la cadena de los semiconductores

A la hora de analizar el rol de la política pública en la cadena de valor de los semiconductores debe tenerse en cuenta la estructura de la propia cadena, así como una distinción básica de los objetivos de política.

En general, las acciones de los gobiernos han tendido a favorecer la inversión de las empresas en el territorio nacional. Esta inversión puede ser tanto en capital físico (mayormente relevante para el eslabón intermedio de fabricación) como en investigación y desarrollo (relevante en toda la cadena, pero sobre todo en el eslabón de diseño). Las herramientas específicas para lograr estas inversiones tienden a coincidir en ambos tipos de inversiones: subsidios y deducciones fiscales. A su vez, la atracción de ambos tipos de inversiones no tiene por qué ser dicotómica: la atracción de una puede determinar la atracción de otra. Una alternativa menos común es la de la producción estatal o la de la participación en las empresas, lo cual es una práctica bastante usual en el caso de China.

Independientemente de estas herramientas específicas, la atracción de inversiones depende también de otra serie de factores en los cuales los gobiernos pueden tener injerencia. Desde luego, la estabilidad macroeconómica y política, así como el acceso a servicios competitivos (energía, agua, etc.) e infraestructura son condiciones de base mínimas para garantizar un flujo de inversiones.

El ecosistema también es una variable crucial. Si bien se trata de una cadena profundamente globalizada, es importante que al interior de los países donde se localizan las inversiones exista un ecosistema favorable en materia de otras empresas o actividades vinculadas, así como de la presencia de un stock y un flujo de capital humano especializado a costo razonable. En este aspecto, el rol de los gobiernos va desde las regulaciones hasta su participación en el fomento de determinados perfiles profesionales y la atracción de capital humano de otras localizaciones.

Finalmente, una cadena tan globalizada demanda estabilidad y reglas de juego claras en materia de política de comercio exterior; veremos que este es un punto débil en la resiliencia de la cadena.

En resumen, a la hora de establecer herramientas de política, los gobiernos deben tener en claro qué tipo de inversión desean fomentar y en qué eslabón de la cadena pretenden hacerlo, para lo cual no solo es necesario tener en claro la estructura de la cadena, sino también el lugar que ocupan las empresas locales en la cadena global. La atracción de inversiones no es un fin en sí mismo, sino una acción que debería buscar enmendar fallas

de mercado. Lo que se busca es responder de qué manera se pueden corregir situaciones que están alejadas del óptimo social. En este sentido, la identificación de estas fallas de mercado son las que acaban determinando el set de herramientas adecuado para lograr la convergencia hacia una asignación de recursos óptima desde el punto de vista social. En lo que sigue, se realizará un análisis detallado de estos objetivos de gobierno y sus herramientas de política desde una perspectiva que combina lo normativo con la experiencia de los países en cada caso. El objetivo de este Apéndice es complementar el análisis presentado sobre la respuesta de los gobiernos ante la crisis actual de abastecimiento de la cadena, a fin de poder dar una perspectiva amplia de las acciones de política que se planean para el corto y mediano plazo del sector.

Potenciación de Inversiones

Fomento de la Investigación de Desarrollo

El fomento de la investigación y el desarrollo es uno de los principales objetivos de las políticas de los gobiernos involucrados en la cadena. Esto hace sentido, particularmente si consideramos que la cadena de valor de los semiconductores es una de las más intensivas en I+D a nivel global. Vale recordar también que este rasgo tiene la particularidad de ir decreciendo a lo largo de la cadena: el eslabón de Diseño es el eslabón conocimiento-intensivo por excelencia, mientras que en el eslabón de Ensamblaje el gasto relativo en I+D es mucho menos relevante.

Las actividades de innovación en general suelen reforzarse con algún tipo de intervención estatal, ya que se considera que las empresas invierten en estos desarrollos menos de lo que sería socialmente deseable. En general, más allá del caso específico de la cadena de los semiconductores, hay acuerdo en que existen fallas de mercado que justifican la necesidad de intervenir para estimular la innovación, (Griffit, 2000; Lucking, Bloom and Van Reenen, 2018).⁴⁸ Sin embargo, el cómo abordar esta intervención puede ser decisivo en cuanto a no generar más distorsiones intentando arreglar una.⁴⁹ En este sentido, la evidencia no es concluyente. Autores como Dimos y Pugh (2016)⁵⁰ encuentran que el subsidio a las actividades de I+D de las empresas privadas “no son desperdiciados”; esto es, no desplazan gasto que las empresas hubieran ejecutado de cualquier manera, sino que gracias a estos subsidios se generan erogaciones de I+D que no se hubieran ejecutado de otra forma. No obstante, el mismo estudio encuentra también que esta estrategia no es capaz de traccionar gastos adicionales en I+D por parte de las empresas.

⁴⁸ Citados en OCDE (2019).

⁴⁹ Un ejemplo donde la intervención podría haber sido distorsiva se cita en Peck (1985), donde se referencia al Programa de Circuitos Integrados de Altísima Velocidad (VHSIC, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos en 1980. Este programa de desarrollo de microchips y procesos para la industria de los semiconductores podría haber contribuido a un déficit de capital humano calificado en el sector privado al subir su remuneración en el sector público.

⁵⁰ Citado en OCDE (2019).

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, donde la competencia y los rápidos ciclos productivos generan los incentivos suficientes para la inversión. Puesto de otra manera, el fomento de la investigación precompetitiva puede corregir distorsiones mayores, así como también generar potencialmente mayores derrames hacia toda la cadena, minimizando riesgos de distorsiones.

Fomento de la Inversión Física

El fomento de la inversión física normalmente va asociado a la búsqueda de la capacidad nacional de producción de chips. Tal como se muestra en Box 5, este objetivo fue perseguido (y logrado) por parte de los países asiáticos. Particularmente, China y Corea del Sur lograron consolidar aumentos en su capacidad productiva en la última década, mientras que Taiwán y Japón lograron sostener sus niveles de participación en la capacidad de producción de la cadena a nivel global.

Un aspecto relevante es el elevado monto de las inversiones necesarias para poner en marcha una nueva fábrica de chips. A este respecto, Varas, *et al.* (2020) realiza una comparación de costos entre países para cubrir tres fábricas modelo de capacidad estándar en tres diferentes tecnologías durante un período de 10 años: tarjetas lógicas, de memoria y analógicas. El costo de montar estas plantas en Estados Unidos, iría de unos USD 5 mil millones (analógica) a unos USD 20 mil millones (lógicas-memoria) incluyendo el costo de las tierras, edificaciones y equipamiento. A su vez, los costos operativos (laborales, energía, materiales, impuestos y otros) estarían en el orden de los USD 0,6 a 2 mil millones anuales para plantas de entre 3 y 6 mil empleados, según la tecnología.

Dados los elevados montos de inversión que demanda el construir una fábrica de chips, los incentivos de los gobiernos son fundamentales a la hora de decidir dónde ejecutar la inversión. En general, estos incentivos apuntan a reducir el costo de capital inicial (tierra, construcción, equipamiento), y también el costo operativo. La Tabla 4 presenta la comparación de los incentivos de gobierno por ítem que resultó del relevamiento del referido estudio, medidos en términos de la reducción del costo total de propiedad antes de incentivos.⁵¹

⁵¹ El costo total de propiedad, TCO (total cost of ownership) se calcula como la suma de los gastos de capital (Capex) más los costos operativos (Opex) durante un período de 10 años, menos los incentivos.

Tabla 4. Incentivos gubernamentales en diferentes localizaciones (en % del costo total de propiedad, primeros diez años de operación)

	USA (1)	Japón	Corea del Sur	Taiwán	Singapur	Asia (2)	China (3)	Alemania	Israel
Reducciones de capital (capex)									
Tierra	50%	75%	400%	50%	100%	85%	100%	100%	75%
Construcción	10%	10%	45%	45%	25%	33%	65%	35%	45%
Equipamiento	6%	10%	20%	25%	30%	20%	35%	5%	30%
Reducciones operativas (opex)									
Trabajo y beneficios	5%	5%	5%	5%	15%	7%	33%	7%	5%
Reducciones impositivas									
Impuestos corporativos	-	-	60%	-	35%	30%	75%	-	74%
Impuestos estatales	100%	-	-	-	-	-	-	-	-
Impuestos a la propiedad	100%	100%	100%	-	-	60%	-	-	-
Reducción general	10-15%	15%	25-30%	25-30%	25-30%	25%	30-40%	10-15%	30%

(1) Basado en el mejor escenario con los incentivos actuales y recientes acuerdos. (2) Excluye a China.
(3) China continental

Fuente: Extraído de Varas, *et al.* (2020)

Ahora bien, la inversión física normalmente es dirigida hacia donde el mercado avizora “ventajas comparativas” en materias costos, legislación, infraestructura, servicios y seguridad legal. De esta manera, las políticas de atracción de inversiones deberían apuntar a subsanar fallas (tanto de mercado como de gobierno) que redunden en que el territorio nacional sea “poco competitivo” de cara a otras opciones.

No obstante, muchos gobiernos han actuado en aras de *crear* esas ventajas comparativas, a través de la reducción de costos en la ejecución (y, en ocasiones, operativización) de esas inversiones con subsidios, exenciones impositivas y suministro de tierras a costo cero o subsidiado. Este tipo de políticas tiende, entonces, a crear distorsiones que pueden atentar contra la resiliencia de la cadena.

Si bien la actual crisis del sector tiene que ver con insuficiencias de capacidad productiva, no deja de ser una crisis de exceso de demanda que es coyuntural y no puede decirse que la crisis se haya dado por insuficiencia de inversión respecto del óptimo social.

Herramientas de política

Hemos visto que las acciones de los gobiernos en materia fiscal pueden tomar forma de subsidios o de incentivos tributarios, y son utilizados tanto para lograr inversiones de capital físico como para llevar las acciones de I+D a niveles socialmente deseables.

Siguiendo a Crespi, *et al.* (2014), los **subsidios** constituyen un tipo de apoyo directo en el que se transfiere dinero a las empresas para ejecutar una inversión o acción de innovación. Existen dos maneras usuales de realizar estas transferencias: los aportes con contrapartida (*matching grants*) y los préstamos condicionales (a tasas por debajo de las de mercado).

Por su parte, los incentivos tributarios suelen ser la herramienta más difundida en lo que refiere a la cadena de semiconductores y consisten básicamente en una deducción impositiva para las empresas, condicional a la realización de la inversión. El objetivo es reducir el costo de capital.

En los programas de fomento de la I+D, estos incentivos fiscales suelen combinarse con cláusula de estímulo de **colaboración** con otros actores del sistema de innovación, como centros de investigación, institutos tecnológicos y otras firmas.

Crespi, *et al.* (2014) realizan una comparación de ambos tipos de instrumentos fiscales, la cual se resumen en la Tabla 5.

Tabla 5. Incentivos fiscales: subsidios vs. incentivos tributarios

	Subvenciones Directas	Incentivos Tributarios
Mecanismo	Financiamiento basado en el proyecto.	Basado en actividades de I+D a nivel de empresa.
Impactos	Reducir costos marginales de actividades de I+D.	Reducir costos marginales de actividades de I+D
Colaboración	El financiamiento puede orientarse hacia la colaboración.	La deducción también se puede orientar hacia la colaboración
Externalidades	El financiamiento puede orientarse hacia proyectos con grandes externalidades.	Mecanismo totalmente favorable al mercado. La empresa decide. Puede tener un sesgo a favor de proyectos más apropiables por el sector privado.
Restricciones de liquidez	El financiamiento puede proporcionar anticipos parciales en efectivo (relajando las restricciones de liquidez). El financiamiento puede dar "señales" a los inversionistas externos.	Operan totalmente ex post, y son menos adecuados para solucionar restricciones financieras. No hay señales
Foco	Alto (el financiamiento puede orientarse hacia empresas con problemas de innovación, como las PyME o empresas nuevas innovadoras).	Bajo (la eficacia depende del contexto tributario general del país, otras exenciones tributarias y vacíos legales) con un sesgo a favor de las empresas más grandes
Costos de implementación	Altos <i>ex ante</i> y <i>ex post</i> .	Bajos <i>ex ante</i> , pero altos <i>ex post</i> .
Capacidades institucionales	Altas capacidades en las agencias de innovación.	Capacidades más bajas en las agencias de innovación, pero más altas en la autoridad tributaria
Capacidades empresariales	Altas (para elaborar un proyecto).	Altas (para identificar un programa de innovación)
Costos fiscales	Costos controlados y transparentes. El financiamiento se orienta al proyecto marginal.	Sin control, los costos fiscales dependen de las decisiones adoptadas por la empresa. Cuando se basan en volúmenes, los subsidios están destinados a proyectos intramarginales también. Hacen más complejo el sistema fiscal
Riesgo moral	El financiamiento puede orientarse a empresas que no se enfrentan a fallas de mercado.	Crean un incentivo para clasificar artificialmente gastos de no I+D como de I+D que no serán fácilmente controlables por parte de las autoridades tributarias.
Prácticas de buen diseño	Implementación de un proceso de asignación competitivo (llamado a concurso). La tasa de subsidio es proporcional al tamaño de las externalidades (más altas en los bienes públicos, investigación genérica o proyectos de colaboración). Asignación transparente mediante un consejo público-privado basándose en evaluaciones de revisores inter pares externos e independientes. Creación de capacidades en las empresas para la formulación de proyectos y estableciendo objetivos para el financiamiento. Inclusión de una cláusula de expiración con un riguroso sistema de monitoreo y evaluación.	Basar los incentivos en el crecimiento de la I+D en lugar de hacerlo sobre el volumen o establecer un proceso de toma de decisiones basado en proyectos similar a los subsidios. Creación de capacidades de monitoreo y evaluación en la autoridad tributaria. Incluir en la deducción una prima por las externalidades (p. ej., colaboración o contratación de personal I+D). Inclusión de diferimiento o de conversión de efectivo para las nuevas empresas. Predicción del costo fiscal e inclusión del mismo en el presupuesto, estableciendo un mecanismo transparente para asignar los créditos cuando la demanda supera a la oferta. Inclusión de una cláusula de expiración con un monitoreo y un sistema de evaluación rigurosos.

Fuente: Extraído de Crespi, *et al.* (2014)

Otra estrategia para incrementar inversiones (físicas e intelectuales) es que el gobierno mismo sea **partícipe del proceso productivo**. Países como China y Corea han intentado y tienen agendas de lograr “campeones nacionales” (o líderes mundiales) en este segmento, pero lo cierto es que es difícil el *catch up* tecnológico respecto de los jugadores ya establecidos en el escenario global. No obstante, la **producción estatal directa** es algo en lo que solo China ha incurrido, en el marco de su marco de política para semiconductores con *Made in China 2025*.

La importancia de las reglas de comercio

En una cadena tan globalizada como lo es la de los semiconductores, las políticas de comercio de los países resultan un elemento crucial a la hora de hablar de su resiliencia. Así, una estructura de comercio aceptada permite el normal desenvolvimiento del flujo productivo, pero una situación de tensiones geopolíticas o la búsqueda de algunos países de fortalecer su posición pueden acabar comprometiendo dicho flujo de trabajo.

En el marco internacional dado por la Organización Internacional del Comercio (WTO), hoy hay 82 países que representan el 97% del comercio de productos tecnológicos⁵² 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.

El artículo de la OECD (2019) encuentra una sustancial reducción del arancel promedio para la cadena. En el caso de China, la baja es sustancial, pero aún sigue teniendo un arancel promedio alto si se los compara con los demás países relevados.

Desafortunadamente, 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. 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

⁵² 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.

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.

Desarrollo de Capital Humano

Como se mencionara previamente, la radicación de inversiones (físicas o de conocimiento) demanda la preexistencia de un determinado ecosistema que contribuya al retorno de esos desembolsos. Parte fundamental de este ecosistema es la existencia de capital humano calificado a costos razonables. Como en todas las otras secciones, lo dicho aquí tiene sus matices según el estadio de la cadena en que nos enfoquemos, e incluso en el segmento tecnológico en el que se haga foco.

No obstante, se puede decir que en líneas generales los gobiernos tienen tres grandes herramientas para colaborar con el desarrollo de capital humano, a saber:

- ▶ **Fomento de carreras afines.** Independientemente del sistema universitario prevaleciente, el gobierno puede contribuir al fomento de determinadas carreras de interés para la industria, e incluso influir en el contenido de los planes de estudio. Si bien en este tipo de acciones pueden incluir transferencias monetarias como becas, vale remarcar que muchas veces en el segmento educativo la principal falla no es de acceso a financiamiento, sino de información. Entonces, el rol del gobierno puede tener matices, dependiendo de la situación en particular.
- ▶ **Legislación flexible.** Se trata de una acción horizontal, en el sentido de que suele ser extensiva a toda la economía, y tiene que ver con la legislación laboral. Los mercados laborales flexibles suelen ser relevantes para la fase operativa de la inversión, y se vinculan al siguiente ítem.
- ▶ **Facilitación de la movilidad.** El movimiento de talento es un aspecto característico de las industrias intensivas en I+D, de manera que los gobiernos deben procurar facilitarla. Esto se debe a que esta movilidad es una forma natural de trasladar el conocimiento tácito que, en la industria de semiconductores, reviste particular relevancia.⁵³

⁵³ Según OCDE (2019) son numerosos los ejemplos exitosos de movilidad de talentos en la cadena de valor de los semiconductores, destacando por ejemplo los casos de *Samsung* (envía ingenieros a California para asimilar la tecnología recién licenciada de *Micron* y *Zytrex*) e *Intel* (contratación temprana de personal israelí en los puestos más altos, quienes luego llevaron a la empresa a establecer operaciones de I+D y fundición en su país de origen).

