

NOTA TÉCNICA N° IDB-TN-02953

Semiconductores en Panamá

Claves para el desarrollo del
ecosistema de la cadena global de
valor de semiconductores en el país

Agustín Filippo
Carlos Guaipatín
Lucas Navarro
Galileo Solís
Federico Wyss

Banco Interamericano de Desarrollo
Departamento de Países de Centroamérica, Haití,
México, Panamá y República Dominicana (CID),
Representación en México (CME) y División de
Competitividad, Tecnología e Innovación (CTI)

Julio 2024



Semiconductores en Panamá

Claves para el desarrollo del ecosistema de la cadena global de valor de semiconductores en el país

Agustín Filippo
Carlos Guaipatín
Lucas Navarro
Galileo Solís
Federico Wyss

Banco Interamericano de Desarrollo
Departamento de Países de Centroamérica, Haití, México, Panamá y República Dominicana (CID), Representación en México (CME) y División de Competitividad, Tecnología e Innovación (CTI)

Julio 2024

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

Semiconductores en Panamá: claves para el desarrollo del ecosistema de la cadena global de valor de semiconductores en el país / Agustín Filippo, Carlos Guaipatín, Lucas Navarro, Galileo Solís Federico Wyss.

p. cm. — (Nota técnica del BID ; 2953)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Integrated circuit layout-Panama. 2. Panama-Commerce. 3. Industries-Panama. 4. International economic relations. I. Filippo, Agustín. II. Guaipatin, Carlos. III. Navarro, Lucas. IV. Solís, Galileo. V. Wyss, Federico. VI. Banco Interamericano de Desarrollo. Departamento de Países de Centroamérica, Haití, México, Panamá y República Dominicana. VII. Banco Interamericano de Desarrollo. Representación en México. VIII. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Competitividad, Tecnología e Innovación. IX. Serie.

IDB-TN-2953

Clasificaciones JEL: L14, L2, L63, F15, O14, O25

Palabras clave: Desarrollo Productivo, Cadenas Globales de Valor, Inversión Extranjera Directa, Semiconductores, Panamá

<http://www.iadb.org>

Copyright © 2024 Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons CC BY 3.0 IGO (<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/igo/legalcode>). Se deberá cumplir los términos y condiciones señalados en el enlace URL y otorgar el respectivo reconocimiento al BID.

En alcance a la sección 8 de la licencia indicada, cualquier mediación relacionada con disputas que surjan bajo esta licencia será llevada a cabo de conformidad con el Reglamento de Mediación de la OMPI. 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 Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil (CNUDMI). 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 y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones que forman parte integral de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta obra son exclusivamente de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del BID, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



Semiconductores en Panamá

Claves para el desarrollo del ecosistema de la cadena global de valor de semiconductores en el país

Agustín Filippo

Carlos Guaipatín

Lucas Navarro

Galileo Solís

Federico Wyss



Contenido

Resumen Ejecutivo	4
1. Introducción	8
2. Panamá: el desafío de la productividad.....	10
2.1. Los motores de la economía panameña	10
2.2. La ingeniería del crecimiento: innovación en Panamá	13
2.2.1. Indicadores de innovación.....	13
2.2.2. La política pública de innovación en Panamá.....	15
3. Semiconductores: una oportunidad para impulsar la economía del conocimiento	19
3.1. La CGV de los semiconductores	19
3.1.1. Geografía.....	20
3.1.2. Modelos de Negocio	21
3.1.3. El factor tecnológico: funciones, estándares y usos	22
3.2. Una crisis, una oportunidad	24
3.2.1. La estrategia estadounidense y las implicancias para la región	25
3.2.2. Redefiniendo el <i>backend</i> : el <i>advanced packaging</i>	27
3.3. Semiconductores en América Latina	29
3.3.1. México	30
3.3.2. Brasil.....	32
3.3.3. Costa Rica	34
3.4. Un lugar para Panamá.....	36
3.4.1. Fortalezas y debilidades.....	37
3.4.2. Oportunidades abiertas	46
4. Recomendaciones de política	49
Referencias.....	53
Apéndice 1. Listado de entrevistados.....	56

Semiconductores en Panamá

Claves para el desarrollo del ecosistema de la cadena global de valor de semiconductores en el país

Agustín Filippoⁱ Carlos Guaipatínⁱⁱ Lucas Navarroⁱⁱⁱ Galileo Solís^{iv} Federico Wyss^v

Abstract

Con base en una serie de entrevistas a actores claves de Panamá y diversas fuentes de información secundaria, este trabajo presenta un análisis de las oportunidades concretas de potenciar el desarrollo de Panamá mediante su inserción en cadenas de valor de alto contenido de conocimiento, como es la de los semiconductores. Se consideran cuatro dimensiones críticas en las que se analizan las condiciones del país para atraer a potenciales inversores de esta CGV: estabilidad política y económica; ambiente de negocios e incentivos; ecosistema y capital humano; y logística y servicios. Se encuentra que, si bien las condiciones específicas de base para el desarrollo de estos sectores son favorables en aspectos como el desarrollo logístico, el ambiente de negocios y la estabilidad económica, existen puntos críticos a atender como el bajo esfuerzo en innovación y la disponibilidad de talento. Más allá de esto, el país cuenta con sobrados antecedentes que reflejan su capacidad para impulsar nuevos ecosistemas productivos tal como el de semiconductores.

Palabras clave: Desarrollo Productivo, Cadenas Globales de Valor, Inversión Extranjera Directa, Semiconductores, Panamá

Códigos JEL: L14, L2, L63, F15, O14, O25

ⁱ Departamento de Países de Centroamérica, Haití, México, Panamá y la República Dominicana.

ⁱⁱ División de Competitividad, Tecnología e Innovación.

ⁱⁱⁱ Consultor independiente.

^{iv} División de Competitividad, Tecnología e Innovación.

^v Consultor independiente

Resumen Ejecutivo

De la mano de una estrategia de impulso de la inversión externa y el desarrollo de un pujante sector exportador de servicios, Panamá se ha transformado en uno de los países de mejor desempeño económico de América Latina y el Caribe. Sin embargo, ese modelo viene dando señales de agotamiento que instan al país a tomar acciones para complejizar su economía y consolidar un proceso de crecimiento sostenible en el mediano y largo plazo.

En un contexto de tecnologías digitales emergentes, un sector estratégico de alto potencial al que Panamá puede apostar es el de semiconductores, considerado por muchos como la columna vertebral de las economías modernas. El objetivo de integrar esta cadena de valor es particularmente desafiante, puesto que el proceso productivo de un semiconductor es sumamente complejo. Se trata de una cadena muy globalizada y dispersa geográficamente, que involucra una gran cantidad de etapas muy específicas y una fragmentación de la producción a lo largo de todo el hemisferio norte¹.

Siguiendo la experiencia de países de la región, como Costa Rica, u otros en Asia, Panamá cuenta con antecedentes y capacidades suficientes para presentar su propia estrategia para incorporarse en esta cadena global de valor (CGV) como aliado clave de los Estados Unidos en la nueva estructura global.

En efecto, el fuerte impulso de Estados Unidos para potenciar su capacidad productiva de semiconductores en su territorio, en un contexto de reconfiguración de esta CGV, abre oportunidades para nuevos actores de la región. En el marco de la *CHIPS and Science Act*, el Fondo Internacional de Innovación y Seguridad Tecnológica (ITSI), de US\$ 500 millones, habilita a estudiar posibilidades de diversificación geográfica de la cadena en el resto de América. El ITSI tiene un particular interés en explorar el potencial para realizar actividades en el eslabón de ensamblaje, empaquetamiento y testeo (*backend*) de la CGV en países aliados, entre los que se ha incluido a Panamá.

Actualmente, más allá de la presencia de algunas empresas multinacionales con actividades de logística en el sector, Panamá no participa directamente en la CGV de semiconductores. No obstante, ha manifestado, a través de diversos actores de relevancia, la intención de desarrollar un ecosistema local integrado a esta cadena. Con experiencia en grandes

¹ De manera simplificada, puede decirse que la Cadena Global de Valor (CGV) de semiconductores se conforma de tres eslabones: uno de diseño, muy intensivo en conocimiento, uno de fabricación (*frontend*) más intensivo en capital, y finalmente el eslabón de ensamblado, empaquetamiento y testeo (*backend*), trabajo intensivo, donde los chips son testeados masivamente, y empacados para ser finalmente entregados a las verticales tecnológicas que los demandan.

proyectos como la construcción del Canal, y el desarrollo de un *hub* aéreo, el país ha dado muestras de su capacidad para impulsar el desarrollo de nuevas actividades de elevado impacto en su economía.

Con base en una serie de entrevistas a actores claves de Panamá y diversas fuentes de información, este trabajo presenta un análisis de las oportunidades concretas de potenciar el desarrollo de Panamá mediante su inserción en cadenas de valor de alto contenido de conocimiento, como es la de los semiconductores. Se consideran cuatro dimensiones críticas en las que se analizan las condiciones del país para atraer a potenciales inversores de esta CGV, las cuales se resumen a continuación.

(i) Estabilidad política y económica: El país tiene mayor estabilidad política que sus pares de la región y una economía estable, con una baja presión fiscal. Sin embargo, presenta espacios de mejora en lo que hace el estado de derecho y el control de la corrupción. De todos modos, a lo largo de su historia, Panamá ha dado muestras de estabilidad institucional en su política de desarrollo productivo, más allá de los ciclos políticos, y es de esperar que esto se mantenga de cara a su estrategia en semiconductores.

(ii) Ambiente de negocios favorable e incentivos de localización: Panamá se encuentra bien posicionado en la región en los indicadores de facilidades para hacer negocios. Cuenta con acuerdos comerciales con socios estratégicos y regímenes especiales para la atracción de inversiones extranjeras como el de Sedes de Empresas Multinacionales (SEM) y el más recientemente lanzado de Empresas Multinacionales para la Prestación de Servicios Relacionados con la Manufactura (EMMA). A esto se suman tres tipos de zonas económicas especiales consolidadas: la zona libre de Colón (la segunda más grande del mundo), la zona económica especial de Panamá Pacífico (con facilidades como un aeropuerto internacional, un puerto marítimo y un parque industrial) y doce zonas francas activas y seis en desarrollo a lo largo del país. Estos regímenes ofrecen exenciones impositivas sobre los patrimonios, las utilidades y los bienes utilizados para la producción, todos beneficios garantizados por ley. Un aspecto que debiera tenerse presente en relación con un plan de desarrollo del ecosistema de semiconductores es el de articular regímenes especiales de incentivos, adaptados a las necesidades de la cadena, teniendo en cuenta los que ofrecen otros países que compiten con Panamá en la atracción de inversiones al sector.

(iii) Existencia de un ecosistema y recursos humanos calificados: Una limitante para el proyecto de atracción de inversiones en semiconductores es la baja densidad de

actividades productivas tecnológicas e intensivas en conocimiento, lo cual tiene su correlato en el bajo gasto en I+D que presenta el país. En ese sentido, la estrategia de desarrollo productivo del país no debería limitarse solo a semiconductores, sino apuntar a un espectro más amplio de industrias relacionadas (como por ejemplo la electrónica y otras que son demandantes de las nuevas tecnologías digitales).

Obviamente, desarrollar un ecosistema requiere talento, y en ese ámbito el país ha dado muestras de su capacidad para formar los recursos humanos requeridos para el desarrollo de nuevos sectores como ha sido el caso del aeronáutico. En lo que hace a semiconductores, las universidades se encuentran avanzando de forma proactiva en iniciativas para el desarrollo del capital humano que requiere esta CGV. En particular, la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP) se encuentra liderando un proyecto para la conformación de un Centro de Tecnologías Avanzadas en Semiconductores (C-TASC). Se trata de un centro destinado a la capacitación e innovación académica para el sector, en el que se está trabajando en conjunto con el sector público y privado. También es destacar el rol del Instituto Técnico Superior Especializado (ITSE), institución enfocada en la formación en perfiles técnicos orientados a las necesidades del entramado productivo local. En sintonía con el plan para conformar un ecosistema de semiconductores, el ITSE planea ofrecer una carrera de técnico electrónico, con conocimientos especializados en técnicas básicas de diseño y pruebas de calidad de componentes electrónicos. Estas estrategias de formación de talentos en calificaciones medias y altas, podrían complementarse con capital humano especializado extranjero, para lo cual el país debe brindar las facilidades que correspondan, ámbito en donde persisten muchos frentes donde avanzar.

(iv) Buenas condiciones logísticas y de aprovisionamiento de servicios: En estos aspectos radican las principales fortalezas de Panamá, que tanto con su canal como con su *hub* aéreo, es un punto de referencia clave para la logística internacional. Esto posiciona a Panamá como el país más competitivo de la región en desempeño logístico, aunque en desventaja considerable respecto a competidores de países asiáticos como Tailandia y Singapur. Existen en el país empresas multinacionales que brindan servicios de adquisición, transporte, almacenamiento, instalación, mantenimiento, trazabilidad, reciclaje y gestión de inventarios a la cadena. Si bien este sector logístico mantiene cierta reserva de sus actividades, puede transformarse en un actor clave para la estrategia local de desarrollo de un ecosistema de semiconductores.

Otro factor crítico de atracción de inversiones al país es el suministro de servicios clave. En el caso de la energía, Panamá tiene costos competitivos, buenas condiciones de

acceso e indicadores de fiabilidad en el suministro con espacios para mejoras. Por último, más del 70% de la generación eléctrica proviene de fuentes renovables, lo cual es una ventaja en línea con las acciones de mitigación del impacto ambiental de la producción.

Panamá enfrenta una oportunidad única para avanzar en el objetivo de contar con una estrategia de desarrollo productivo basada en nuevos sectores intensivos en conocimiento, y en particular el de semiconductores, que le permitan consolidar una senda de crecimiento sostenido a su economía.

Si bien las condiciones específicas de base para el desarrollo de estos sectores son favorables en aspectos como el desarrollo logístico, el ambiente de negocios y la estabilidad económica, existen puntos críticos a atender como el bajo esfuerzo en innovación y la disponibilidad de talento. Más allá de esto, el país cuenta con sobrados antecedentes que dan cuenta de su capacidad para impulsar ecosistemas productivos nuevos.

En ese sentido, las acciones que se vienen emprendiendo desde la administración pública, que en buena medida se ven avaladas en la participación en el fondo ITSI estadounidense, van en la dirección correcta y deberán mantenerse en el futuro para lograr el objetivo.

1. Introducción

Los semiconductores son uno de los productos más complejos y relevantes que ha creado el hombre. Estos pequeñísimos dispositivos han dado forma al mundo moderno, al permitir el desarrollo de numerosos productos electrónicos y digitales que posibilitan la vida diaria y las actividades económicas. La producción de semiconductores es compleja e involucra una gran cantidad de etapas que se desarrollan de forma complementaria en tres continentes (Norteamérica, Europa y Asia), ninguno de los cuales es autosuficiente (Varas *et al.*, 2021).

En los últimos años, esta cadena global de valor (CGV) ha pasado a estar en el centro de la escena mundial. Esto responde a dos factores que operaron simultáneamente. Uno es el desabastecimiento ocurrido tras la pandemia por el COVID-19, causado por restricciones temporales de oferta que afectaron las cadenas de suministro ante las cuarentenas, y un salto estructural en la demanda de productos electrónicos intensivos en semiconductores (Filippo *et al.*, 2022a). El otro factor es de índole tecnológico; los semiconductores más modernos son habilitantes esenciales para nuevas tecnologías como la inteligencia artificial (IA), el 5G y el internet de las cosas (IoT), lo cual tiene efectos no solo en el desarrollo económico, sino también en materia de seguridad nacional (OECD, 2022). La conjunción de ambos factores puso en alerta a los gobiernos del mundo; particularmente, las tensiones entre Estados Unidos y China por el liderazgo tecnológico se recrudecieron y motivaron acciones de política industrial sin precedentes (Filippo *et al.*, 2022a).

Todo lo anterior desencadenó un proceso de reconfiguración de la CGV que, potencialmente, podría permitir a nuevos actores ingresar a la misma (Filippo *et al.*, 2022b). Para Panamá, esta oportunidad es especialmente relevante, dado que el país enfrenta el desafío de lograr una estructura productiva que permita complejizar su economía y alcanzar un proceso de crecimiento sostenible. Siguiendo la experiencia de países de la región, como Costa Rica, u otros en Asia, Panamá cuenta con antecedentes y capacidades suficientes como para idear su propia estrategia para incorporarse en esta cadena como aliado clave de los Estados Unidos en la nueva estructura global.

Con base en una serie de entrevistas a actores claves de Panamá y diversas fuentes de información, este trabajo presenta un análisis de las oportunidades concretas de potenciar el desarrollo de Panamá mediante su inserción en cadenas de valor de alto contenido de conocimiento, como es la de los semiconductores.

El trabajo se estructura en tres grandes partes, además de esta introducción. La parte 2 esboza el punto de partida del país, conceptualizando su estructura productiva actual y su posición en materia de ciencia, tecnología e innovación. La parte 3 se adentra en la CGV de

los semiconductores: luego de realizar una descripción de la cadena, se analizan las oportunidades que se desprenden de la crisis de abastecimiento que afecta al sector; se presentan los casos de otros países de la región que ya tienen actividades en la cadena (México, Brasil y Costa Rica); y se identifican fortalezas y debilidades de Panamá para plantear su propia estrategia de desarrollo del ecosistema de semiconductores. Finalmente, en la parte 4 se presentan las conclusiones y las recomendaciones de política.

2. Panamá: el desafío de la productividad

2.1. Los motores de la economía panameña

Panamá es el país de mayor ingreso per cápita (a paridad de poder de compra) en América Latina y el Caribe². Su ingreso per cápita representa cerca de 50% del de los Estados Unidos, casi 30 puntos más que la relación que existía en los 2000 (IMF, 2023). ¿Qué hay detrás de esta veloz convergencia?

El fabuloso crecimiento del ingreso per cápita del país en las últimas décadas se explica principalmente por las inversiones que apuntalaron el desarrollo de un pujante sector de servicios transables, que fueron acompañadas por un “boom de construcción” en el sector comercial no residencial (Hausmann *et al.*, 2017). Estas inversiones privadas fueron complementadas por grandes proyectos de infraestructura pública, como la expansión del canal de Panamá, la primera línea de metro y el nuevo terminal del aeropuerto de Tocumen, lo cual ha contribuido, entre otros beneficios, al desarrollo de un *hub* aéreo en la ciudad de Panamá. A su vez un gran número de empresas multinacionales se han establecido en el país.

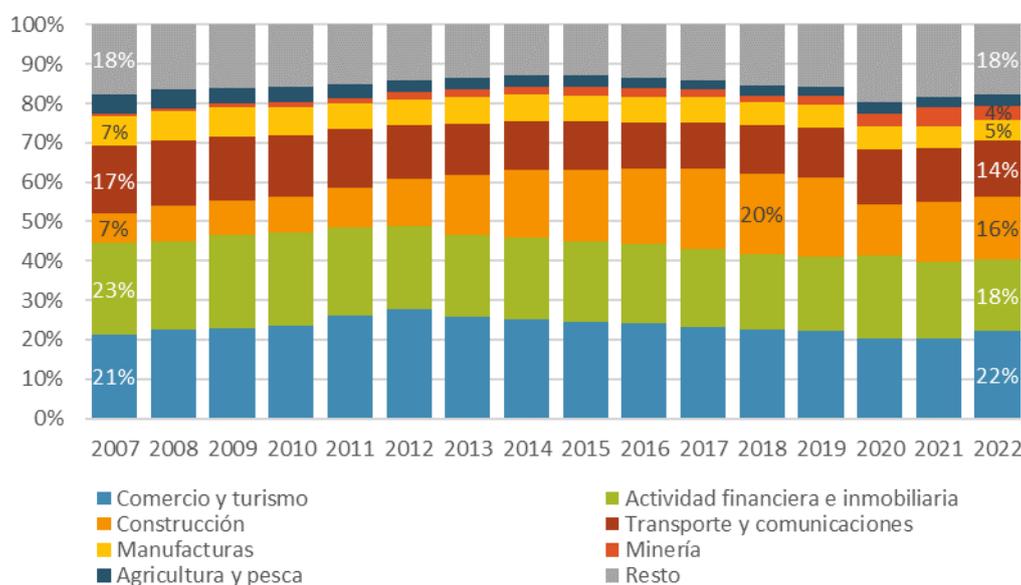
A pesar de este crecimiento, la productividad total de los factores (PTF) cayó casi un 20% en la última década, y la contribución del capital humano fue prácticamente nula (IMF, 2023). De acuerdo con el análisis del IMF (2023), este desempeño en productividad podría atribuirse a rendimientos decrecientes a escala en la acumulación de capital del país. Esto plantea un gran desafío para el futuro: cuando el *boom* de inversión se agota (fundamentalmente a partir de la disrupción ocasionada durante la pandemia por el COVID-19), ¿cuál será el nuevo motor de la economía?

En la Figura 2.1 se refleja lo dicho a partir de la contribución de las actividades económicas al valor agregado bruto (VAB) nacional. En 2018, la actividad de la construcción llegó a ser casi tan importante como la del comercio y el turismo, que conjuntamente son las principales actividades de la economía panameña. De forma leve en 2019, y sobre todo ante los efectos del COVID-19, la construcción perdió participación (pasando del 20% del VAB en 2018 al 13% en 2020). Actualmente, el sector está en vías de recuperar incidencia, aunque con un dinamismo que se prevé moderado, dado el elevado *stock* inmobiliario preexistente. En adición, la Figura 2.1 muestra una tendencia de pérdida de peso relativo de las actividades financieras e inmobiliarias, y de transporte y comunicaciones, suscitadas en parte por el mayor peso de la minería, llegando a representar 4% de la economía en 2022, el cual se

² <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.PP.CD>

atribuye a las cuestionadas operaciones de la empresa canadiense Cobre Panamá, que recientemente fueron declaradas inconstitucionales y no podrán sostenerse en el futuro³. Finalmente, es destacable no solo la baja participación de las actividades manufactureras (5%), sino el hecho de que se ha retraído dos puntos porcentuales respecto del dato de 2007.

Figura 2.1. Panamá. Contribución sectorial al valor agregado bruto (2007-2022)



Fuente: Elaboración propia con datos de UNdata.

Lo anterior muestra a Panamá esencialmente como una economía con una elevada competitividad en servicios; los niveles de exportaciones de servicios per cápita son los más altos de la región, similares al promedio de la OCDE y por encima del de Estados Unidos (Hausmann *et al.*, 2017). Aun así, en Hausmann *et al.* (2017) se señala que este segmento enfrenta un obstáculo en cuanto a talento y capital humano para poder lograr un ritmo de crecimiento que permita sostener el nivel de desempeño de la economía panameña. Ante el agotamiento de otros motores, como la construcción y la minería, este problema se ve reforzado, condicionando la estrategia productiva nacional para encontrar nuevos impulsores de crecimiento.

De esta manera, Panamá necesita mejorar la calidad y la cantidad del talento disponible. Si bien mejoras en el sistema educativo son acciones fundamentales y necesarias para la sostenibilidad de largo plazo, el país necesita acciones de efecto más inmediato. Para ello, puede aprovechar su posición estratégica en el comercio internacional y sus arreglos

³ Cobre Panamá es una mina de cielo abierto para la explotación del cobre, la única del país y la mayor de Centroamérica, que requirió una inversión de US\$ 10 mil millones. La empresa produce desde 2019 y aportó el 80% de las exportaciones nacionales en 2021. Tras la renovación de la concesión de la explotación de la mina por 20 años en octubre de 2023, y ante fuertes protestas fundamentadas en irregularidades contractuales y el impacto ambiental de la mina, la Corte Suprema de Justicia declaró inconstitucional la operación y dispuso el cierre de la mina.

institucionales (ver sección 2.2.2), para mejorar su posición en las cadenas globales de valor (CGV).

De acuerdo con la evidencia, la participación de las empresas en CGV contribuye al crecimiento de la productividad y la transformación productiva de los países en desarrollo, al permitirles especializarse en ciertas actividades en lugar de esperar el desarrollo completo de una industria en su territorio (Blyde, 2014; UN, 2013; World Bank, 2020). Estos impactos no solo abarcan a los del comercio internacional, asociados a la mayor exposición a la competencia, la expansión de los mercados y un mejor acceso a insumos, sino también a los resultantes de la intensa interacción y coordinación entre las empresas participantes en las cadenas de valor (Xing *et al.*, 2021). Bajo las condiciones institucionales adecuadas, estas relaciones entre los participantes en las CGV son una fuente de derrame de conocimiento y ganancias adicionales de eficiencia, que favorece a la innovación y el crecimiento de la productividad.

Actualmente, el modelo de las CGV está enfrentando una reestructuración de gran magnitud. Esto responde a la creciente relevancia de los imperativos de sostenibilidad y resiliencia, los cuales llevan a las compañías multinacionales a plantear estrategias de negocio que no se enfoquen exclusivamente en parámetros de eficiencia (Filippo *et al.*, 2023). Los imperativos de sostenibilidad y resiliencia implican una mayor consideración de los efectos de las actividades productivas en el plano local y ambiental, así como la preocupación por poder dar respuestas rápidas y efectivas a los distintos *shocks* a los que la operatoria de las cadenas globales está expuesta. La búsqueda de nuevas tecnologías, nuevos aliados comerciales y nuevas modalidades de producción por parte de las empresas que lideran las CGV puede significar una ventana de oportunidad para que países como Panamá logren una inserción contundente y provechosa en las redes globales.

Ahora bien, en Filippo *et al.* (2023) se argumenta que las mencionadas ventajas de participar en CGV no están garantizadas con el mero ingreso a la red productiva, sino que dependen de que exista un marco de política e institucional adecuado que permita a las empresas locales sacar el mayor provecho de esta participación. Un requerimiento importante para que esto suceda es contar con un ecosistema de innovación articulado en torno al aprovechamiento de los conocimientos incorporados en la economía local. En el apartado siguiente, se analizará la estructura institucional del ecosistema de innovación de Panamá.

2.2. La ingeniería del crecimiento: innovación en Panamá

2.2.1. Indicadores de innovación

De acuerdo con la edición 2023 del Índice Global de Innovación (GII), Panamá ocupa la posición 84 entre 132 economías. A nivel regional, ocupa el noveno puesto, detrás de Brasil, Chile, México, Uruguay, Colombia, Costa Rica, Argentina y Perú⁴. En la Tabla 2.1 se muestran algunos indicadores de innovación que forman parte del GII y que permiten comparar a Panamá con otros países *benchmark* que serán utilizados en el resto del documento⁵.

Un indicador clásico para medir la propensión a innovar de una economía es el gasto bruto en investigación y desarrollo (I+D) como proporción del PIB. En este sentido, la región de América Latina y el Caribe aparece relegada, con un gasto promedio en torno al 0,3% del producto. Panamá se ubica por debajo de esta referencia, invirtiendo un 0,2% de su PIB en estas actividades formales de investigación⁶. Por su parte, los países de referencia se encuentran en la media (México) o por encima de ella (Costa Rica, Brasil). Otro aspecto poco alentador de este indicador en Panamá es que solo el 1,1% de este gasto es erogado por empresas. Por el contrario, en economías con mejor desempeño, como Tailandia o Singapur, el sector privado es típicamente el responsable de más de la mitad del gasto nacional en I+D.

En cuanto a la producción de artículos científicos, un estudio reciente de Tacsir (2023) señala que la producción panameña se orienta mayormente hacia Ciencias de la vida, seguido de Ciencias Físicas y Ciencias de la Salud. Por su parte, las Ciencias Sociales acumularon el 5% del total de publicaciones. A su vez, entre 2010 y 2022, el 88% de los documentos firmados por instituciones panameñas cuenta también con un coautor extranjero, lo cual se destaca como algo positivo. Esta vocación de colaboración, sin embargo, no se ve reflejada al interior del país, con otros actores fuera de la academia. De hecho, Panamá es el país de la Tabla 2.1 con menor índice de cooperación universidad-empresa en investigaciones.

⁴ En relación a la comparación con otros países, otros índices como los del *Future of Growth Report* del WEF (2024) arrojan resultados en la misma dirección.

⁵ La selección de países corresponde a potenciales competidores de Panamá para atraer actividades en el eslabón de ensamblaje, testeo y empaque de semiconductores, también conocido como *backend* (ver sección 3).

⁶ Desde una perspectiva de largo plazo el gasto en I+D en % del PIB ha tendido a la baja. Según RICYT (www.ricyt.org), entre 1990 y 2003 nunca estuvo por debajo del 0,34% del producto, luego tuvo una fuerte tendencia decreciente, llegando a un mínimo de 0,11% en 2015, que se comenzó a revertir desde entonces, aunque de forma errática.

Tabla 2.1. Indicadores de innovación, países seleccionados (2023)

Indicador	Panamá	Costa Rica	México	Brasil	Tailandia	Singapur
Ranking GII 2023	84	74	58	49	43	5
Talento						
Graduados en ciencia/ingeniería (%)	13.7	15.9	25.8	17.5	27.9	36.3
Investigadores (por millón de habitantes)	39.1	345.0	355.8	887.7	2069.9	7488.4
Empleo intensivo en conocimiento (%)	10.9	21.4	20.0	23.9	13.7	59.9
Mujeres empleadas con maestría o doctorado (%)	11.3	11.8	10.4	14.5	10.6	29.6
Investigación y desarrollo						
I+D total (% PIB)	0.2	0.4	0.3	1.2	1.3	2.2
I+D financiado por empresas (%)	1.1	2.3	17.8	43.2	80.8	58.3
Colaboración						
Colaboración Universidad-Empresa (índice, 0-100)	23.5	39.9	37.9	38.2	53.7	85.5
Desarrollo de clústeres (índice, 0-100)	29.5	52.8	52.9	47.5	44.7	80.8
Importación de conocimiento						
Importaciones de alto contenido tecnológico (%)	3.8	8.3	17.9	13.5	18.0	24.3
Uso del conocimiento						
Exportaciones de alto contenido tecnológico (%)	9.4	6.3	14.2	2.1	16.7	28.6
Manufacturas de alto contenido tecnológico (%)	7.6	13.0	46.3	35.6	44.0	78.5

Fuente: Elaboración propia con base en GII 2023.

El bajo involucramiento de las firmas en las actividades formales de innovación pone dudas sobre la efectividad de los procesos nacionales de I+D para inducir mejoras en productividad. En adición, el país presenta el menor nivel de desarrollo de clústeres, que típicamente son espacios donde las empresas de una determinada actividad económica comparten conocimiento y aprovechan economías de escala para realizar inversiones en bienes públicos sectoriales. Estos indicadores de colaboración permiten inferir que las empresas panameñas no solo no se involucran en actividades formales de I+D, sino que a su vez son poco propensas a hacerlo en otras actividades más blandas que implican, por ejemplo, adopción de tecnologías ya probadas en el mercado o compartir conocimientos con competidores (el concepto de *coopetencia*).

Una fuente de acceso a estos conocimientos de mercado es a través de la importación de bienes de alto contenido tecnológico. Estos productos representan solo el 3,8% de la canasta importadora de Panamá, mientras que en Costa Rica el nivel es superior al 8%, y en otros países de la región se supera el 10%.

Por el lado de la producción, solo el 7,6% de las manufacturas panameñas se asocian a productos de alto contenido tecnológico, porcentaje muy inferior al de los países de referencia de la Tabla 2.1.

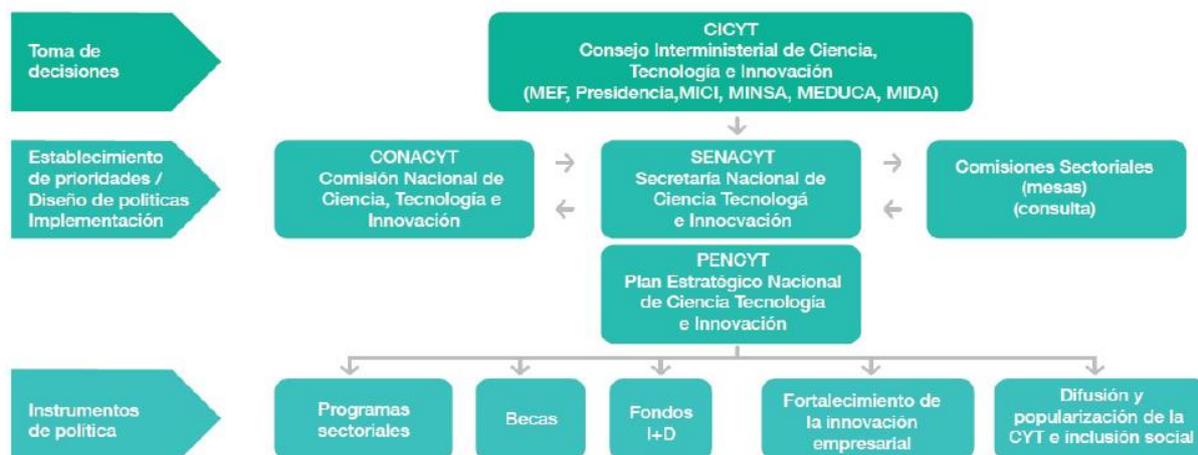
El insumo fundamental de la innovación es el talento, o aquellos recursos humanos calificados que pueden generar, adaptar, implementar y difundir conocimiento. Como se ve en la Tabla 2.1, el 13,7% de los graduados de las universidades de Panamá son ingenieros o afines a actividades científicas. Este nivel está ligeramente por debajo de, por ejemplo, Costa Rica, cuyo guarismo es del 15,9%. No obstante, este país tiene 345 investigadores (equivalentes a tiempo completo) por cada millón de habitantes, mientras que Panamá tiene sólo 39. Este valor, a su vez, está muy por debajo del de los países asiáticos (en Tailandia es de 2.070 y en Singapur 7.488). Adicionalmente, solo el 11% del empleo de Panamá se vincula a actividades intensivas en conocimiento, mientras que en los otros países de la región la proporción es superior al 20%.

Tomando en cuenta los indicadores presentados, Panamá enfrenta diversos desafíos en materia de innovación. El país necesita, simultáneamente, aumentar su capital humano en ingeniería y ciencias, y lograr que las empresas locales se involucren más en actividades innovadoras formales e informales. Resolver estos puntos es un menester para lograr definir una nueva senda de crecimiento nacional que sea compatible con un desarrollo sostenible. La política pública de innovación es clave para lograr articular acciones en este sentido, creando las condiciones necesarias para la instalación de nuevas actividades intensivas en conocimiento en el país.

2.2.2. La política pública de innovación en Panamá

En la Figura 2.2 se muestra una representación esquemática de la estructura y los actores que conforman al sistema de ciencia, tecnología e innovación (CTI) de Panamá. Esta estructura establece que la toma de decisiones de alto nivel en materia de CTI se lleva a cabo de manera consensuada entre la Presidencia de la República, y los Ministerios de Economía y Finanzas (MEF), de Comercio e Industrias (MICI), de Salud (MINSA), de Educación (MEDUCA), y de Desarrollo Agropecuario (MIDA). Estos organismos conforman el Consejo Interministerial de Ciencia, Tecnología e Innovación (CICYT), organismo de gobierno encargado de coordinar las agendas CTI de las distintas carteras relacionadas.

Figura 2.2. Estructura del Sistema Nacional de CTI en Panamá



Fuente: UNCTAD – Examen de Políticas de Ciencia, Tecnología e Innovación (2019).

En el siguiente nivel de jerarquía, aparece la Secretaría Nacional de ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) como organismo articulador del establecimiento de las prioridades en la agenda CTI, así como en el diseño de las políticas específicas para su consecución mediante la ejecución del Plan Estratégico Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (PENCYT). De acuerdo a la ley de creación del SENACYT, el PENCYT debe presentarse y aprobarse cada 5 años, estando vigente el correspondiente al período 2019-2024⁷. Como institución autónoma, la SENACYT es la entidad del gobierno que realiza estas tareas en interacción con la Comisión Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (CONACYT) y las distintas comisiones sectoriales de operación, que son una fuente de consulta fundamental para determinar la pertinencia de las estrategias diseñadas.

Dentro de los principales instrumentos de política con los que actualmente cuenta la SENACYT pueden mencionarse⁸:

- Sistema Nacional de Investigación (SNI): Un instrumento que reconoce y estimula la labor de los investigadores y los centros de investigación que realizan actividades de investigación científica y tecnológica en Panamá, mediante incentivos económicos y distinciones. Fue creado por la Ley 56 del año 2007.
- Fortalecimiento del Aprendizaje en la Ciencia y la Tecnología: Un programa que promueve el interés y la vocación por la ciencia y la tecnología en los estudiantes de educación básica y media, mediante actividades de divulgación, formación y participación.

⁷ Más detalles pueden consultarse en <https://www.senacyt.gob.pa/pencyt-2019-2024/>.

⁸ El listado de instrumentos se encuentra disponible en <https://www.senacyt.gob.pa/convocatorias-redireccion>

- **Becas Internacionales:** Un programa que otorga becas para estudios de maestría, doctorado y postdoctorado en universidades extranjeras de prestigio, en áreas prioritarias para el desarrollo nacional.
- **Fondo para Apoyo a las Universidades y Centros de Investigación:** Un fondo que financia proyectos de investigación científica y desarrollo tecnológico en instituciones académicas y de investigación nacionales, con el fin de fortalecer sus capacidades y contribuir a la generación de conocimiento.
- **Fondos para Innovación y Emprendimiento:** Un conjunto de fondos que apoyan iniciativas de innovación y emprendimiento en el sector privado, con el objetivo de impulsar la competitividad, la diversificación y la modernización de la economía.

Como puede verse, el foco de los instrumentos está puesto principalmente en el desarrollo de capital humano para CTI y en la generación de conocimientos, y no tanto en la difusión e instalación de estos conocimientos en el entramado productivo local. Un estudio reciente del BID (Maggi, 2019) encuentra que, aunque existen en el país actividades asociadas a la transferencia tecnológica, las mismas son limitadas y se enfocan en la sistematización de los resultados de investigación, no en su transferencia al sector empresarial.

Las tareas de SENACYT en estos aspectos son complementadas por la labor de las 5 universidades públicas y 51 universidades privadas (número y proporción similar al de Costa Rica). Tres de ellas, la Universidad de Panamá, la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP) y la Universidad Autónoma de Chiriquí (UNACHI) originan más de un tercio del total de las solicitudes anuales de patentes nacionales (Maggi, 2019). Así, las universidades no solo contribuyen formando talento, sino también creando conocimiento en sus centros de investigación.

A su vez, en Panamá existen las denominadas Asociaciones de Interés Público (AIP), que son personas jurídicas conformadas por instituciones públicas o privadas, que realizan actividades de interés nacional, sin ánimo de lucro. Algunas de las AIP relevantes para el ecosistema de innovación son:

- **CENAMEP:** El Centro Nacional de Metrología de Panamá, que se encarga de desarrollar, difundir e implementar el conocimiento asociado a las mediciones y estándares a nivel nacional.
- **INDICATIC:** El Instituto Nacional de Investigaciones Científicas Avanzadas en Tecnologías de Información y Comunicación se dedica a la investigación científica avanzada en tecnologías de información y comunicación (TIC) en Panamá.

- INDICASAT: El Instituto de Investigaciones Científicas y Servicios de Alta Tecnología de Panamá, que promueve el desarrollo de la ciencia biomédica y la transferencia de tecnología en el país.

La gran mayoría de los organismos mencionados hasta aquí tienen operaciones en la Ciudad del Saber. Creada en 1999, está ubicada en la antigua base militar de Clayton, frente al Canal de Panamá, y cuenta con más de 200 edificios y 120 hectáreas de terreno. En la Ciudad del Saber se encuentran empresas, centros de formación, organizaciones internacionales y programas académicos que colaboran para desarrollar iniciativas que contribuyen a formar el perfil de innovación nacional.

Finalmente, existen organismos de gobierno que no tienen un objetivo explícito de fomentar la innovación, pero que por su rol en la atracción de empresas e inversiones extranjeras califican como habilitadores para la importación de conocimiento en el país. En este grupo, pueden mencionarse a ProPanamá y a la Dirección de Sedes de Empresas Multinacionales en el MICI, desde donde se proveen facilidades a las empresas multinacionales que quieren desarrollar operaciones en el país. A su vez, las políticas asociadas a estos organismos tienen relevancia desde el punto de vista territorial: la amplia cobertura de áreas económicas especiales que posee Panamá contribuye a fomentar la aglomeración de empresas y la potencial colaboración entre ellas. Actualmente, la zona económica especial Panamá Pacífico concentra la mayor cantidad de sedes de empresas multinacionales. Un desafío de estos regímenes, como se verá en la sección 3.4 más adelante, es pasar de un enfoque de generación de empleo a uno que, además, enfatice la transferencia de conocimientos al entramado local.

3. Semiconductores: una oportunidad para impulsar la economía del conocimiento

Recientemente, la cadena global de valor (CGV) de los semiconductores se posicionó en el centro del escenario mundial, acaparando la atención de todo el mundo. Esto fue motivado por los efectos producidos a raíz de la pandemia por el COVID-19 que, entre otras perturbaciones, ocasionó un descalce entre la oferta y la demanda de semiconductores, también conocidos como chips⁹. Este descalce se tradujo en una situación de escasez que se propagó rápidamente a las cadenas consumidoras de estos productos: la automotriz, la de maquinarias industriales, la de electrodomésticos, la de teléfonos móviles, la de ordenadores y la de una larga lista de productos con componentes electrónicos.

El impacto de este *shock* puso en perspectiva la importancia de la resiliencia en cadenas estratégicas como esta, tanto para las empresas como para los gobiernos (Filippo *et al.*, 2023). Como respuesta, los gobiernos de los países que ya ocupan posiciones fuertes en la cadena anunciaron cuantiosos planes fiscales para lograr fortalecer y expandir sus lugares. No obstante, dado que no es posible concentrar todas las actividades de esta CGV en un solo territorio (Varas *et al.*, 2021), esta reconfiguración de la cadena abre oportunidades para otros países con menor peso en la CGV.

En la sección 3.1 se presentará brevemente la estructura de la CGV de los semiconductores, caracterizando los productos y actividades de cada eslabón, así como sus modelos de negocio y la distribución geográfica de la cadena. Luego, en la sección 3.2, se brindará detalle sobre las oportunidades que la crisis de abastecimiento iniciada en 2020 abre para países de la región. La sección 3.3 repasa la experiencia de los países latinoamericanos que ya cuentan con actividades de la CGV de semiconductores en sus territorios. Finalmente, la sección 3.4 analiza las áreas de vacancia donde Panamá puede apuntalar su estrategia para insertarse en esta CGV.

3.1. La CGV de los semiconductores

El proceso de creación de un semiconductor es extremadamente complejo, principalmente debido a las crecientes imposiciones de miniaturización de sus componentes¹⁰. De esta manera, producir un semiconductor demanda de una gran capacidad de coordinación entre quienes intervienen en el proceso y varias semanas o meses de procesamiento, además de las cuantiosas inversiones de fondo.

⁹ En rigor, la palabra "semiconductor" se refiere a una propiedad de ciertos materiales, como el silicio, que funcionan tanto de aislantes como de conductores de electricidad.

¹⁰ Actualmente, el estándar de la industria (la tecnología más avanzada disponible en el mercado) se asocia a transistores de 3 nanómetros de diámetro (para referencia, una partícula de coronavirus oscila entre los 80 y 130 nanómetros).

En la Figura 3.1 se presenta un esquema sencillo para esta cadena de valor. Existen tres eslabones centrales: el de Diseño de los circuitos; el de fabricación (conocido como *frontend*); y el de ensamblaje, pruebas y encapsulado (ATP, por sus siglas en inglés, o también *backend*). Estos tres eslabones son asistidos por otras actividades, como el *software* y los bloques de propiedad intelectual (IP)¹¹ utilizados en el Diseño, o el equipamiento, materiales y productos químicos que se insumen tanto a nivel *frontend* como *backend*. En Filippo *et al.* (2022-a) puede consultarse una descripción detallada de cada eslabón.

Figura 3.1. Representación de la cadena de valor de semiconductores



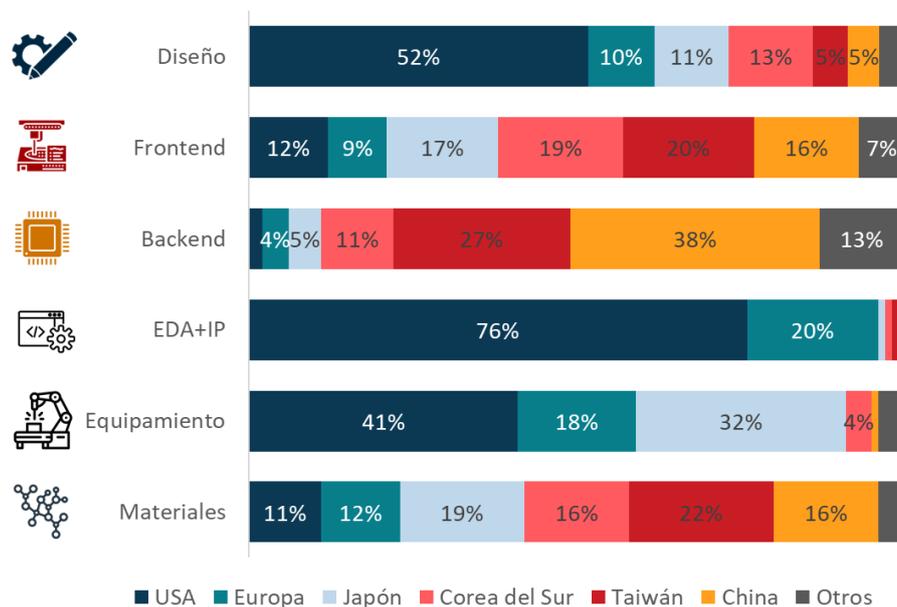
Fuente: Elaboración propia con base en Varas *et al.* (2021)

3.1.1. Geografía

Distintas geografías se fueron especializando en ciertas actividades. De la Figura 3.2 se desprende que, en las actividades más intensivas en I+D (Diseño, Software e IP), Estados Unidos mantiene una posición de liderazgo. También lo hace en lo referente al equipamiento utilizado para la producción *frontend* y *backend*. Por su parte, Asia (y sobre todo China) predominan en el eslabón de *backend*, tradicionalmente asociado a una mayor intensidad de la mano de obra. Tal como se verá luego, el eslabón de *frontend* es el terreno de disputa para los países líderes. Estados Unidos pasó de ostentar el 37% de la capacidad productiva mundial de este eslabón en 1990, a apenas más del 10% en 2019, perdiendo lugar frente a países asiáticos como Taiwán, Corea del Sur y China (Varas *et al.*, 2021).

¹¹ Estos bloques de IP desempeñan funciones genéricas dentro de los circuitos. Los nuevos diseños pueden incorporar esos bloques ya probados, evitando desarrollar desde cero esa funcionalidad específica.

Figura 3.2. Especialización geográfica de la cadena de semiconductores según valor agregado (2019)



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

3.1.2. Modelos de Negocio

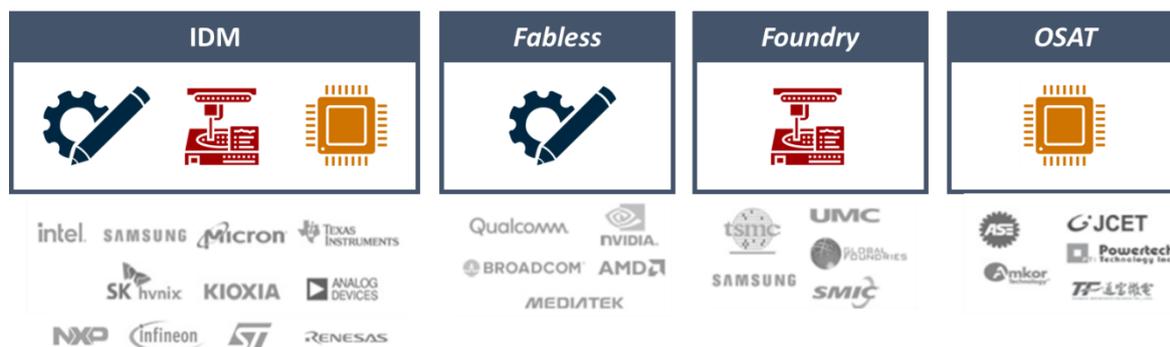
Luego de varios años de desarrollo de ideas por parte de varios científicos, en 1960 se creó el primer circuito integrado operacional. Desde ese entonces, la complejidad de éstos fue creciendo al compás de lo que se conoce como la Ley de Moore, según la cual el número de transistores en un circuito se duplicaría aproximadamente cada dos años, lo cual implicaba una carrera de miniaturización de componentes que redundaba en una creciente complejización del proceso productivo. Esto tuvo su impacto en la evolución de los modelos de negocios predominantes en la cadena.

Originalmente, las empresas productoras funcionaban bajo un modelo integrado, con actividades en los tres eslabones centrales de la cadena. Este modelo es conocido por la sigla en inglés IDM (*integrated device manufacturers*). Con el tiempo y la mayor complejidad tecnológica de los productos, fueron apareciendo modelos de negocios especializados en cada uno de los eslabones (Figura 3.3):

- *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 o *frontend* (capital-intensivo, con alta inversión física). Estas empresas toman los diseños de las *Fabless* o *IDMs* que tercerizan su fabricación.

- *OSAT (outsourced semiconductor assembly and test)*: son empresas especializadas en la etapa de ensamblaje y testeo o *backend*. Al tratarse del eslabón más trabajo-intensivo, este modelo requiere de un nivel de inversión de capital significativamente menor al de las *foundries*. No obstante, como se verá en la sección 3.2.2, los cambios tecnológicos están llevando a que este sector destine cada vez más esfuerzos a I+D y nuevas inversiones de capital.

Figura 3.3. Modelos de negocio en la cadena de valor de semiconductores



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

3.1.3. El factor tecnológico: funciones, estándares y usos

El rótulo de semiconductor puede ser muchas veces engañoso, debido a que engloba a una gran variedad de productos con distintos niveles de complejidad tecnológica. Una de las clasificaciones más utilizadas divide a estos productos en tres grandes grupos: memoria; lógico, y DAO (discretos, analógicos y otros).

Figura 3.4. Ventas de semiconductores según segmento tecnológico (2022)



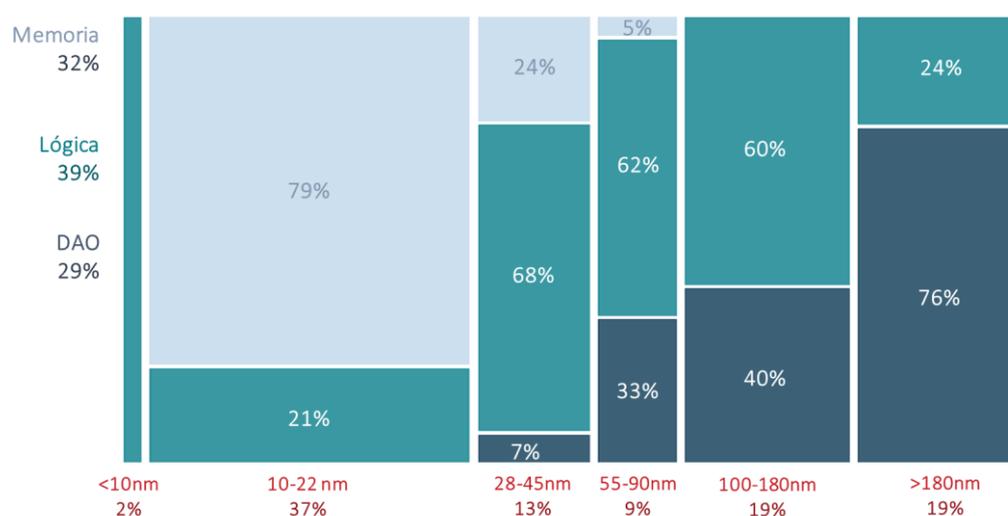
Fuente: Elaboración propia con base en WSTS (2023)

Los dispositivos de memoria y lógicos son circuitos integrados digitales; sus ventas conjuntas representaron un 67% del total global en 2022 (Figura 3.4). En términos de una computadora personal, por poner un ejemplo, los dispositivos de memoria responden a las memorias DRAM, encargadas del almacenamiento de corto plazo del ordenador; por su parte, los

dispositivos lógicos son los procesadores y memorias de largo plazo, como por ejemplo las unidades centrales de procesamiento (CPU) o las unidades de procesamiento gráfico (GPU). Los circuitos digitales son los de mayor relevancia en materia de valor agregado y, debido a la importancia de estar en la frontera tecnológica, son los que concentran las mayores inversiones de la cadena; se trata de mercados fuertemente concentrados (Filippo *et al.*, 2022-b).

Los DAO, por su parte, incluyen a los circuitos integrados analógicos, así como otros encargados de la interacción con el mundo físico, como por ejemplo antenas, amplificadores y receptores de onda. En el caso de los DAO, la vanguardia tecnológica no es lo central (a diferencia del caso de los circuitos integrados digitales), sino el “conocimiento de campo” de los clientes a los que sirven (Filippo *et al.*, 2022-b). Puesto de otra forma, los circuitos analógicos tienen valor por *lo que hacen*: son diseñados para tareas específicas en mercados específicos. Es distinto el *know-how* necesario para la producción de un chip que conduzca un motor eléctrico del requerido para un semiconductor que permite captar ondas de radio. Por sus características, el mercado de los DAO es muchísimo menos concentrado que el de circuitos digitales, y sus ventas globales representaron un tercio del total en 2022 (Figura 3.4).

Figura 3.5. Capacidad instalada de producción, según nodo tecnológico y tipo de semiconductor (2019)



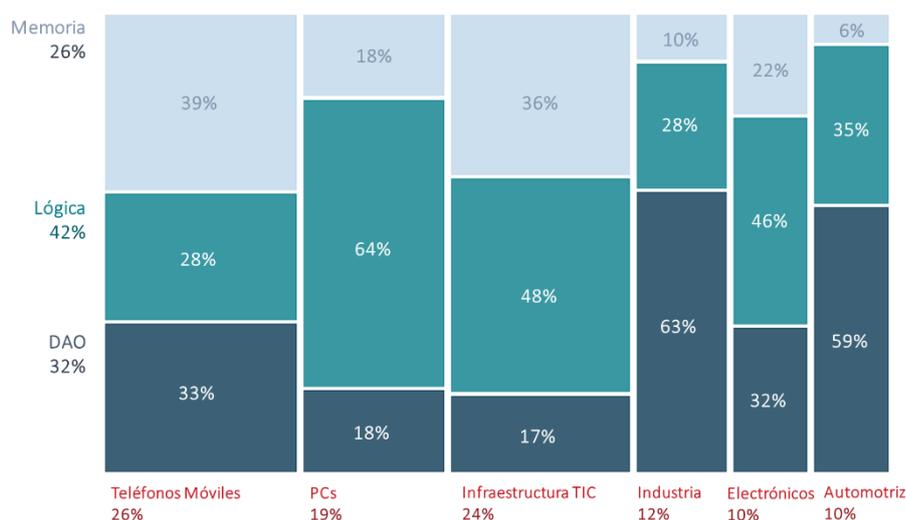
Fuente: Elaboración propia con base en Varas et al. (2021)

Hecha esta distinción, existe otra clasificación que tiene que ver con el grado de sofisticación tecnológica de los productos. Esta sofisticación se mide, como se señaló previamente, de acuerdo al tamaño de los transistores en los circuitos, lo cual se conoce como “nodo tecnológico”. Mientras más pequeños los transistores, más sofisticado el producto y más eficiente su funcionamiento. En la Figura 3.5 se muestra la capacidad instalada de producción para cada tipo de semiconductor en 2019. En líneas generales, la capacidad productiva se

reparte en tercios. Al desagregar de acuerdo con el nodo tecnológico, puede verse que sólo los circuitos digitales (lógicos y de memoria) tienen producción con nodos de menos de 22 nanómetros (casi 40% de la capacidad instalada en 2019, guarismo que se espera crecerá de acuerdo con los recientes anuncios de inversión por parte de las grandes compañías que lideran estos segmentos). Por su parte, para las tecnologías *legacy* (nodos más grandes), los DAO ganan preponderancia.

La Figura 3.6 muestra la composición de las ventas según tecnología y segmento de demanda. La primera conclusión que se desprende de esta figura es que los tres segmentos de semiconductores son demandados, en mayor o menor medida, por todas las verticales a la que abastece la cadena. También se advierte que la industria y las automotrices demandan principalmente el segmento DAO; por ejemplo, el sector automotriz históricamente ha presentado cierta estabilidad en cuanto a los nodos tecnológicos que demanda (Filippo *et al.*, 2022-b). Por su parte, la telefonía celular, las computadoras y la infraestructura TIC significan más de dos terceras partes de la demanda de semiconductores y tienen una demanda sesgada hacia los circuitos digitales en la frontera tecnológica; estos sectores son los primeros demandantes de los nuevos estándares de la industria. Estos segmentos, no obstante, demandan también DAO, puesto que aquí se incluyen, por ejemplo, los receptores de onda necesarios para hacer y recibir llamadas, o captar señales de radio.

Figura 3.6. Composición de las ventas de semiconductores según tecnología y mercado destino (2019)



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

3.2. Una crisis, una oportunidad

La CGV de los semiconductores se vio particularmente afectada durante la pandemia por el COVID-19. Esto se debe no solo al impacto temporal de las medidas de confinamiento en

parte de 2020 (que comprometieron la fluidez de la cadena por el lado de la oferta), sino también a un inédito crecimiento estructural en su demanda, traccionado por cambios en la conducta de los consumidores y la aceleración de la digitalización de gran parte de la economía. Si bien la cadena agotó *stocks* y llevó su actividad a cerca del 100% de su capacidad instalada durante varios meses, el desabastecimiento persistió, perturbando a cadenas demandantes, principalmente las electrónicas y la automotriz (Filippo *et al.*, 2022-a, 2022-b). En este contexto, el eslabón de fabricación se transformó en el cuello de botella que dio origen a una crisis de abastecimiento que aún no está resuelta (McKinsey, 2023). Esta crisis visibilizó vulnerabilidades de la cadena que resaltaron la necesidad de dotarla de mayor resiliencia, con una base productiva más amplia, más diversificada geográficamente y más segura.

Esta situación despertó la alerta en empresas y gobiernos, iniciando una inédita competencia por las nuevas inversiones para expandir capacidad productiva (*frontend*) en la frontera tecnológica. Esta fuerte intervención pública responde no sólo a factores tecnológicos y económicos sino también de carácter geopolítico. De este modo, potenciar las capacidades de producción de semiconductores y ganar liderazgo en la cadena pasó a convertirse en un objetivo de seguridad nacional. En este tiempo de apogeo de la inteligencia artificial, los circuitos más avanzados son claves tanto para la transformación de las distintas cadenas productivas, como para la defensa.

3.2.1. La estrategia estadounidense y las implicancias para la región

En este nuevo entorno para la cadena, los Estados Unidos lanzaron su *CHIPS and Science Act*, una ley bipartita orientada a promover la I+D en el sector y atraer mayor capacidad de *frontend* en el país, para lo cual se estableció un presupuesto de US\$52 mil millones. Esta Ley surge como respuesta a los grandes esfuerzos que China viene haciendo desde hace tiempo para lograr consolidarse en la cadena (enmarcados mayormente en los programas *Made in China*, que suman más de US\$150 mil millones). En consonancia, otros planes similares aparecieron en la Unión Europea, Corea del Sur, India y otros países asiáticos, en la búsqueda de aprovechar el proceso de reestructuración que atraviesa la cadena, y apuntando a las inversiones conjuntas con las empresas de sus países (Filippo *et al.*, 2022-a).

La estrategia estadounidense procura dotar a la cadena de mayor resiliencia frente a *shocks* externos, pero también frente a las tensiones geopolíticas con oriente. En este contexto, la *CHIPS Act* fue complementada con el Fondo Internacional de Innovación y Seguridad Tecnológica (ITSI), que proporciona al Departamento de Estado US\$ 500 millones (US\$ 100 millones a lo largo de cinco años, a partir del año fiscal 2023) para estudiar posibilidades de

diversificación geográfica de la cadena en el resto de América. El ITSI tiene un particular interés en explorar oportunidades para realizar actividades de *backend* en países aliados, como México, Costa Rica o Panamá.

El interés estadounidense por desarrollar actividades de *backend* en territorios afines responde a varios factores. El primero es que, como se mostró en la Figura 3.2, Estados Unidos tiene una participación casi nula en este eslabón. De hecho, dentro de las empresas que operan bajo el modelo OSAT (especializado en este eslabón en particular), solo una de las ocho líderes del segmento es de capitales estadounidenses (*Amkor Technologies*), pero sus actividades productivas se localizan en países asiáticos¹². Por su parte, las IDM estadounidenses también concentran el *backend* en Asia. Esto se debe a que, al tratarse de actividades tradicionalmente intensivas en trabajo de menor calificación que el recurso requerido a nivel *frontend*, el factor de costo de la mano de obra tuvo un gran peso en las decisiones de localización. En un contexto donde Estados Unidos planea aumentar su producción de *frontend* en occidente, sería también necesario aumentar las capacidades de *backend*.

El segundo punto tiene que ver con dónde alojar esas capacidades. Tal como se señaló, este eslabón se encuentra fuertemente dominado por países asiáticos. Taiwán ostenta una cuota del 52% y cuenta con la empresa líder del modelo, ASE (*Khan et al., 2021*). Por su parte, China llegó a ocupar el segundo puesto, con 21% de participación de mercado. Ante las crecientes tensiones geopolíticas, está en el interés de Estados Unidos dotar a este eslabón de una mayor dispersión geográfica, atrayendo actividades hacia occidente y la región.

Tercero, hay un factor tecnológico. Siguiendo el compás de la Ley de Moore, la innovación y los avances tecnológicos de la cadena se concentraron en el eslabón de *frontend*. El propósito era reducir sistemáticamente el tamaño de los transistores, de manera que su cantidad en un circuito se duplicara aproximadamente cada dos años. En la actualidad, el estándar de la industria está en transistores de 3 nanómetros (incluidos, por ejemplo, en el nuevo iPhone 15). No obstante, parece poco probable que la Ley de Moore pueda seguir sosteniéndose, por obvias cuestiones físicas. ¿De qué manera, entonces, puede la cadena seguir aumentando el rendimiento de sus productos? Entre los varios caminos para resolver esta incógnita, uno es dirigir esfuerzos de innovación hacia el hasta ahora relegado eslabón de *backend* (*McKinsey, 2023; Hachemi, 2023*). Adaptar los diseños a lo que se conoce como

¹² La concentración ha ido creciendo en el eslabón de *backend*. La cuota de mercado de las primeras veinte empresas OSAT pasó de 70% en 2009 a 92% en 2019 (*Kleinhans y Baisakova, 2020*). Con todo, este sigue siendo el eslabón menos concentrado de la cadena, con más de 120 empresas operando en sus actividades (*Sikor, 2022*).

advanced packaging (AP) puede ser la forma más inmediata de continuar mejorando el rendimiento, la eficiencia y la calidad de los productos de la cadena.

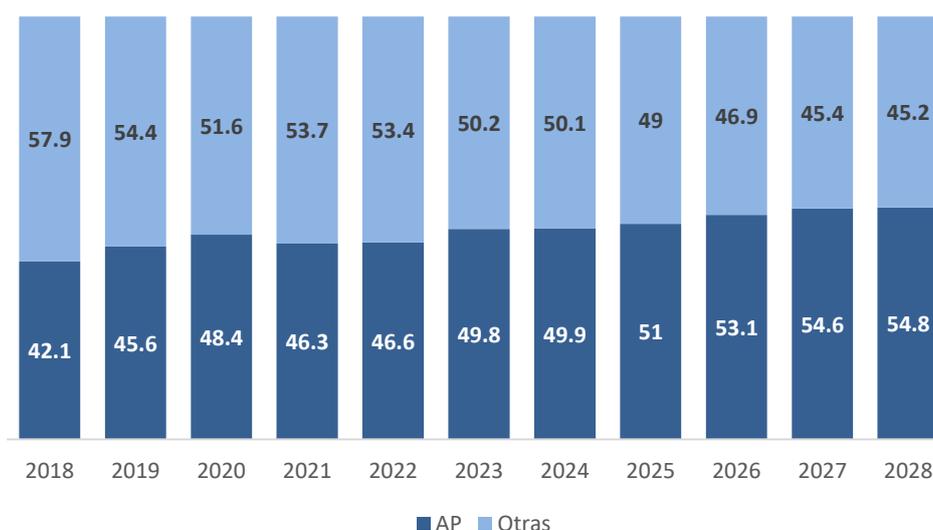
3.2.2. Redefiniendo el backend: el *advanced packaging*

El AP se contrapone a las tecnologías de encapsulado convencional de chips. Las tecnologías tradicionales son dos. La más antigua, fue desarrollada en 1950 y sigue en uso, y consiste en unir los chips al sustrato (las placas de circuitos impresos, PCB) mediante alambres. La segunda fue inventada en los '90 y se conoce como *flip chip*. Esta es la tecnología más barata y utilizada en el mercado, consistiendo en unir los chips al sustrato mediante soldadura.

Por su parte, en AP se incluyen varias tecnologías desarrolladas en los últimos 20 años, y que se encuentran en un vibrante proceso de innovación y mejoras. En general, en AP las conexiones se hacen a nivel de oblea (esto es, antes de cortar los pequeños chips); por lo tanto, se trata de una estrategia con mayor injerencia de las empresas que se encargan del *frontend*. La variante más avanzada es la que se conoce como *3D stacking*, donde se apilan varios chips con diferentes funciones en la misma cápsula (McKinsey, 2023).

Actualmente, el AP representa aproximadamente la mitad de las ventas registradas en las actividades de encapsulado de chips (Figura 3.7). En 2022, este mercado alcanzó los US\$ 95 mil millones, con US\$ 44 mil millones para AP (Hachemi, 2023). Se proyecta que este segmento exhiba un crecimiento anual del 10% de 2022 a 2028, alcanzando los US\$ 78,6 mil millones para 2028. Al mismo tiempo, se espera que el mercado tradicional crezca al 4% anual durante el mismo período.

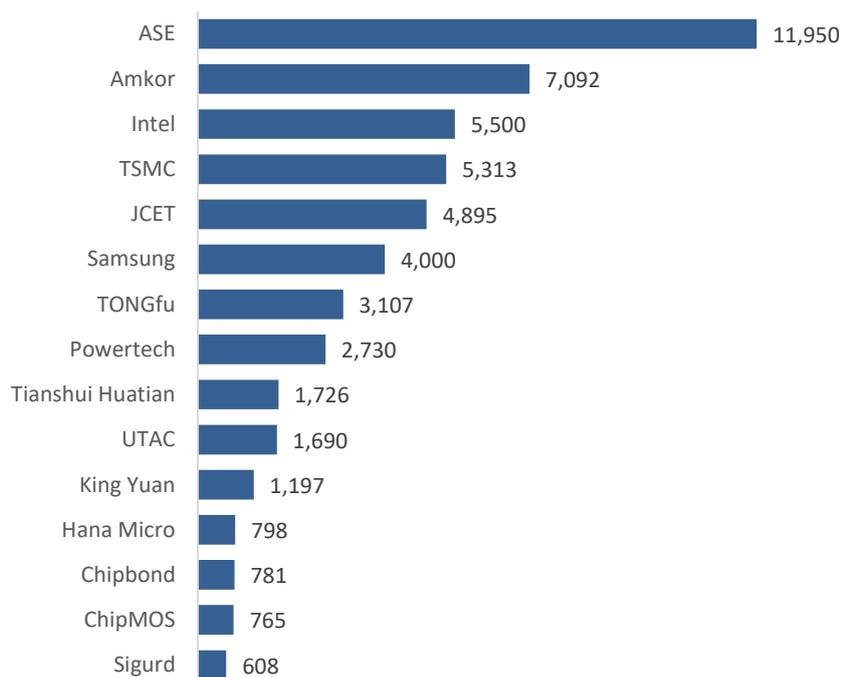
Figura 3.7. Composición porcentual de las ventas en *packaging* de semiconductores según tipo de tecnología (2018-2028)



Fuente: Extraído de Hachemi (2023)

La Figura 3.8 muestra a las quince principales empresas que realizan AP. El *ranking* es liderado por las dos principales OSAT, ASE (Taiwán) y Amkor (Estados Unidos). El tercer y cuarto puesto lo ocupan dos IDM, Intel (Estados Unidos) y TSMC (Taiwán). En Estados Unidos, otras IDM que no figuran en el *ranking* también trabajan actualmente con AP, tales como *Texas Instruments*, *Micron*, y *GlobalFoundries* (Slkor, 2022).

**Figura 3.8. Las 15 principales empresas de AP según ventas en 2022
(en millones de dólares)**



Fuente: Extraído de Hachemi (2023)

Si bien China carece aún de una capacidad sólida en AP, las inversiones de *backend* del gobierno chino han ido sistemáticamente hacia este nicho (Slkor, 2022). Adicionalmente, China ha ido ganando participación en lo referente a la fabricación de PCB, lo que la convierte en un mercado más atractivo para los proveedores de sustratos relevantes para el AP. Se estima que Estados Unidos está 20 años por detrás de Asia en tecnología de fabricación de placas de circuitos impresos para aplicaciones electrónicas de próxima generación¹³. De hecho, en líneas generales, el segmento de materiales y productos químicos (donde pueden contabilizarse a las PCB), es también uno de los flancos débiles de Estados Unidos que es fuertemente dominado por Asia.

En resumen, para que la estrategia estadounidense de recalibrar el centro gravitacional de la CGV de los semiconductores sea exitosa, deberá incluir también acciones en materia de sus

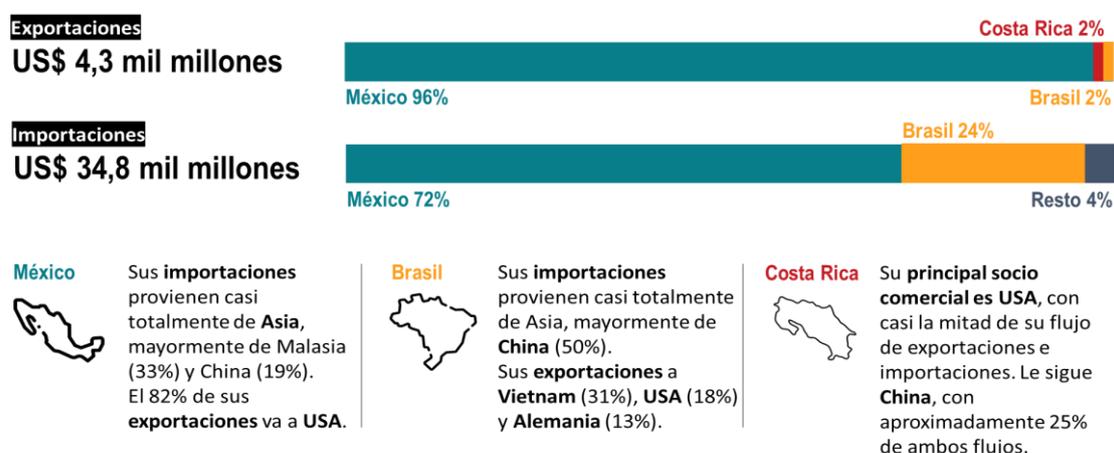
¹³ Según (Slkor, 2022), Estados Unidos alguna vez representó más del 30% de la fabricación de placas de circuitos impresos del mundo; actualmente representa menos del 5%.

puntos débiles: el *backend*, y los materiales y químicos necesarios para la producción de chips. Estas actividades están hoy dominadas por Asia, debido a su alto requerimiento de mano de obra de bajo costo. Con el agotamiento de la Ley de Moore, los esfuerzos de innovación de la cadena han dejado de enfocarse casi exclusivamente en el *frontend* para dedicarse a estos segmentos, los cuales se están tornando más intensivos en capital y conocimiento. Esto tiene, a su vez, implicancias para los modelos de negocio vigentes, ya que las empresas OSAT (típicamente encargadas del *backend* tercerizado) comienzan a encontrarse amenazadas por las empresas especializadas en *frontend* o las IDM. Por lo tanto, no será solo la geopolítica la que dirija los cambios en estos eslabones, sino también los aspectos tecnológicos inherentes a las leyes sobre las cuales se rige la evolución de la cadena.

3.3. Semiconductores en América Latina

Tal como puede inferirse de la Figura 3.2, la participación de América Latina en la CGV de semiconductores es marginal. De acuerdo con los datos de comercio internacional de *WITS Comtrade* para los productos de la cadena para 2021, las importaciones de la región suman US\$ 34,8 mil millones, lo cual representa el 2,5% del total global. Por su parte, las exportaciones ascienden a US\$ 4,3 millones, apenas 0,3% del total global. Estas exportaciones provienen casi con exclusividad de tres países: México, Costa Rica y Brasil. De los tres, México representa el 96% del total exportado en 2021, y Costa Rica y Brasil participan con el 2% cada cual. Los tres países se encuentran explícitamente mencionados en el texto del ITSI como potenciales aliados en la estrategia estadounidense para recalibrar su posición en la CGV de semiconductores.

Figura 3.9. América Latina. Exportaciones e importaciones de semiconductores* (2021)



* Posiciones (HS2007) 8541 y 8542.

Fuente: Elaboración propia con base en WITS Comtrade.

A continuación, se analiza con mayor detalle la historia de la cadena en cada uno de estos países, y su actualidad.

3.3.1. México¹⁴

Con un PIB de US\$ 1.414 mil millones, México es la segunda economía latinoamericana, y un gran demandante de semiconductores. Esto se debe sobre todo a su consolidada posición en las CGV de productos electrónicos y automotrices, pero también a otras incipientes como la aeronáutica.

Estas industrias comenzaron a desarrollarse en el país a partir de dos factores críticos. El primero es la cercanía con los Estados Unidos. El segundo es la fuerte vocación de apertura comercial del país, lo cual contribuyó al aprovechamiento del primero, posicionando a México entre los países con mayor integración a CGV de la región (Iacovone *et al.*, 2021). Bajo estas condiciones, la industria de los semiconductores comenzó a desarrollarse de manera orgánica en el país, sin que mediara una política explícita dirigida a tal fin.

Tal es así que, durante los '90, México llegó a desarrollar actividades de *frontend* en tecnologías DAO, las más accesibles en cuanto a costos de inversión y complejidad. La operación se desarrolló de la mano de *Motorola*, una de las empresas que se radicó en el país bajo el esquema de maquilas en la década del sesenta, y que tenía en Guadalajara una división de producción de semiconductores discretos. En el año 1999, de las operaciones de *Motorola* surge *ON Semiconductor* (actualmente *Onsemi*), una *IDM* enfocada en el segmento DAO para diversos fines, que finalmente decidió retirar sus operaciones de México para relocalizarse en Asia. A su vez, la parte restante del negocio de *Motorola* en México se convirtió en *Freescale Semiconductor* hacia el año 2004, otro *spinoff* que operó como *IDM*, pero en una gama más amplia de semiconductores. En línea con la creciente concentración de mercado en la cadena, esta empresa fue adquirida por *NXP* en 2015, y las actividades de producción fueron discontinuadas. Actualmente, el eslabón de *frontend* en México ha vuelto a tener presencia de la mano de nuevas operaciones en DAO, como las *Vishay Technologies* en el estado de Durango.

Por su parte, es más visible la presencia en México de los eslabones de Diseño y *backend*. En el primero, que es I+D intensivo, es *Intel* quien ocupa la posición de liderazgo, con su *Guadalajara Design Center* (GDC), fundado en el año 2000. Este es el centro de ingeniería más grande de la compañía en América Latina y uno de sus seis centros de desarrollo de productos de largo plazo. El GDC emplea actualmente a más de 1700 personas, y ha registrado más de 1.000 inventos y más de 100 patentes (Intel, 2022). Esto se da con una

¹⁴ Este segmento se basa principalmente en la experiencia documentada en (Filippo *et al.*, 2022-b).

estrategia de redes: Intel apoya y está asociado con centros de innovación tecnológica patrocinados por universidades en todo el país, contribuyendo con capacitación y equipos para apoyar el desarrollo y la expansión del ecosistema.

A la presencia de *Intel* en este eslabón se le suman las capacidades de los centros públicos que dependen del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT); en particular, el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE). Dentro de las líneas de investigación del INAOE se encuentra la de microelectrónica/circuitos integrados, que actualmente cuenta con 8 investigadores y tiene un carácter transversal en la agenda del Instituto (Filippo *et al.*, 2022-b). Los proyectos de I+D consisten en el diseño y creación de circuitos integrados para aplicaciones analógicas y digitales a medida, con foco en los campos de las telecomunicaciones, salud/biomedicina, óptica/fotónica y energía¹⁵. También tiene investigadores trabajando con materiales (polímeros, silicio, entre otros), que se utilizan o podrían utilizarse en la fabricación de semiconductores.

Las actividades desarrolladas por el INAOE abarcan también otras propias del sector proveedor de *software* al eslabón de Diseño, conocido también como *Electronic Design Automation (EDA)*. El Instituto tiene convenios de colaboración con empresas de primera línea en el eslabón de Diseño, independientemente de su presencia en México (*Intel, Skyworks, Global Foundries, IBM*), realizando procesos de prueba y validación de diseños.

Finalmente, las actividades de *backend* son realizadas en el país principalmente por *Skyworks* en Mexicali, *Texas Instruments* en Aguascalientes, e *Infineon* (la principal proveedora de semiconductores para el sector automotriz) en Tijuana. En todos los casos, se trata de productos asociados a la demanda local mencionada al principio de esta sección.

Actualmente, México y Estados Unidos tienen abierto un Diálogo Económico de Alto Nivel (DEAN) para avanzar en temas vinculados a las prioridades comerciales y económicas estratégicas que comparten ambos países. En el contexto de la entrada en vigencia del nuevo acuerdo de libre comercio entre ambos países y Canadá (T-MEC), la colaboración en el DEAN se ha enfocado en cuatro pilares temáticos. El primero de ellos, denominado “reconstruir juntos”, se centra en “mejorar el ambiente regional de negocios, desplegar tecnologías avanzadas, fortalecer la resiliencia de las cadenas de suministro México – Estados Unidos, y promover el comercio y viajes legales”¹⁶.

¹⁵ El grupo trabaja principalmente con la tecnología CMOS, que aún es la más utilizada en el mundo, en tamaños de 180 nm, 130 nm, 90 nm, y 65 nm. No obstante, de cara a las tecnologías de frontera en este segmento, se está empezando a abordar la tecnología FinFET, que trabaja con transistores de 20nm y ya se utiliza en laptops, smartphones, wearables, redes y coches (Filippo *et al.*, 2022-b).

¹⁶ <https://www.gob.mx/se/es/articulos/dialogo-economico-de-alto-nivel-dean-entre-mexico-y-estados-unidos-282209?idiom=es>

3.3.2. Brasil¹⁷

Brasil es la primera economía de América Latina en cuanto a su PBI. A su vez, se constituye como un eje de desarrollo regional, con una potente industria automotriz y aeronáutica, lo cual ha atraído actividades de la CGV de semiconductores para su abastecimiento directo. Para el año 2021, el país tenía un déficit comercial en la cadena de semiconductores por más de US\$ 8 mil millones, importando 91 veces lo que exporta.

La historia de la industria de semiconductores en Brasil puede remontarse a la década de los setenta, cuando se instalaron las primeras fábricas de semiconductores discretos de baja complejidad (diodos y transistores) alineados a las necesidades locales. A su vez, la Universidad de São Paulo (USP) tenía también un laboratorio de microelectrónica, que estaba cerca de la frontera del conocimiento en investigación de circuitos integrados. Sin embargo, estos emprendimientos fueron desactivados en la década de noventa, debido a la apertura comercial y la falta de políticas públicas de apoyo al sector.

Para el año 2000, se inició un nuevo impulso para el desarrollo de la industria de semiconductores en Brasil, con la creación de la Asociación Brasileña de la Industria de Semiconductores (ABISemi), que reúne a empresas, instituciones de investigación y entidades gubernamentales. ABISemi nace con el objetivo de promover el fortalecimiento de cada eslabón de la cadena productiva de semiconductores en el país¹⁸.

Además, se volvió a apoyar la investigación académica en el área de semiconductores, principalmente a través de las universidades públicas, con el financiamiento de agencias como la Fundación de Apoyo a la Investigación del Estado de São Paulo (FAPESP). Los estudios abarcan desde la síntesis de nuevos materiales, como el carburo de silicio y el oxinitruro de silicio, hasta el diseño de dispositivos micro y optoelectrónicos, como láseres, sensores, memorias y sistemas microelectromecánicos.

Uno de los principales logros de esta época fue una iniciativa conjunta entre la surcoreana *Hana Micron* y el grupo nacional *Parit Participações em Inovação e Tecnologia* para desarrollar actividades de *backend* en el país. Para tal fin, se creó una nueva firma, bajo el nombre de *HT Micron*, enfocada en la fabricación, desarrollo de proyectos de encapsulación y testeado de productos de diferentes tecnologías, particularmente para los chips de memoria. Su sede se ubica en el Campus de la Universidad de Vale do Rio dos Sinos (Unisinos) en São Leopoldo/RS, socio en la implementación de la infraestructura de la sala limpia y para la formación de recursos humanos del sector.

¹⁷ Esta parte del texto se basa principalmente en Vasconcelos (2004, 2018).

¹⁸ <https://www.abisemi.org.br/abisemi/menu/2/about-abisemi>

Actualmente, además de *HT Micron*, existen más de diez empresas de semiconductores asociadas en ABISemi, que se enfocan en diferentes segmentos del mercado de sofisticación, como la optoelectrónica, los sensores, la radiofrecuencia y los circuitos integrados de aplicación específica (ASIC)¹⁹. Entre estas empresas, puede mencionarse a *Ceitec*, *Chipus*, *Eldorado*, *EnSilica*, *Fitec*, *LSI-TEC*, *Nanox*, *Novachip*, *NXP*, *Opto*, *Poli-USP*, *Silibrina* y *Unitec*.

Este constituye un ecosistema incipiente, apoyado por programas gubernamentales y de instituciones de investigación, como el Instituto de Investigaciones Eldorado, de Campinas, que se especializa en proyectos de diseño de circuitos integrados. Los recursos humanos del Instituto provienen mayoritariamente del programa CI Brasil, una iniciativa implementada en 2005 por el gobierno federal junto con empresas y la academia, con el objetivo de crear un ecosistema en microelectrónica capaz de insertar al país en el escenario mundial de semiconductores. De aquí surgieron casi una docena de *spinoffs* orientados al diseño de semiconductores, entre las que se cuenta un laboratorio para el prototipado de chips resultado de un convenio de cooperación tecnológica con *Smart Modular Technologies*, una de las principales compañías de encapsulamiento en el país²⁰. La instalación de este laboratorio integra el Programa de Apoyo al Desarrollo Tecnológico de la Industria de Semiconductores (Padis), otra iniciativa del gobierno federal para incentivar la industria nacional de chips.

Parte de este ecosistema es la controversial empresa estatal *Ceitec*, creada en 2008 con el objetivo de que fuera la primera fábrica brasileña de circuitos integrados de alta tecnología. Finalmente, las actividades de *Ceitec* se limitaron a la producción de productos de baja tecnología (DAO) y al diseño de algunos circuitos digitales de nodos maduros. Debido a sus desmanejos financieros, la empresa inició su liquidación en 2021, pero ésta fue interrumpida por el actual gobierno para intentar reconfigurar las actividades de la empresa.

En lo que respecta a las grandes empresas de la cadena, el anuncio más importante que recibió Brasil en el último tiempo vino de la mano de Qualcomm, una *fabless* dedicada al segmento de procesadores para *smartphones*. En 2018, la empresa estadounidense terminó eligiendo a Brasil por sobre México para instalar una planta en la región de Campinas, en el estado de São Paulo, para producir una nueva tecnología llamada QSiP (*Qualcomm System in a Package*), que involucra las nuevas tecnologías de AP revisadas en la sección 3.3.2²¹. La planta sería un *joint venture* con la taiwanesa *USI*, una de las mayores ensambladoras de

¹⁹ Los ASIC son circuitos integrados de aplicación específica, es decir, microchips diseñados para una función o aplicación particular. Por ejemplo, los ASIC se usan para procesar algoritmos de criptografía, minería de criptomonedas, procesamiento de señales, inteligencia artificial, entre otros. Los ASIC tienen la ventaja de ser más rápidos, eficientes y personalizados que los circuitos integrados genéricos.

²⁰ La estadounidense *Smart* posee unidades en ocho países. La fábrica brasileña es la única que ejecuta las etapas de corte, encapsulamiento y prueba de circuitos integrados.

²¹ Parte de los incentivos ofrecidos incluyeron una reducción del Impuesto sobre la Circulación de Mercaderías (ICMS) e incentivos fiscales vinculados al Proceso Productivo Básico (PPB), un programa federal que concede beneficios a compañías que radican en el país parte de su línea de fabricación.

chips del mundo, con inversiones de US\$ 200 millones y con demanda para 800 empleos. No obstante, este proyecto quedó suspendido ante los acontecimientos sufridos a escala global, que llevaron a reconsiderar muchas de las estrategias de las empresas de semiconductores (ver apartado 3.2). Actualmente, el país se encuentra en conversaciones de alto nivel con Estados Unidos para explorar alianzas y continuar desarrollando el ecosistema local con potenciales nuevas inversiones²².

3.3.3. Costa Rica²³

A diferencia de los casos de México y Brasil, Costa Rica es un país pequeño, que no cuenta con el impulso de un gran mercado doméstico. Por tanto, el desarrollo de actividades de la CGV de semiconductores fue el resultado de una estrategia de gobierno de atraer al país empresas intensivas en conocimiento para contribuir a cambiar la estructura productiva local.

Durante la segunda mitad de la década del noventa, *Intel* se encontraba en la búsqueda de una localización para su nueva planta de ATP. La diversificación geográfica era un factor, por lo que la empresa estaba ponderando ubicaciones por fuera de los usuales puntos de acción en Asia. De todas maneras, esas ubicaciones funcionaban como vara para medir a las restantes ubicaciones: la nueva planta requeriría ubicarse allí donde existiera una cierta masa de trabajadores con determinado nivel de cualificaciones y bajo costo. En líneas generales, según Monge-González (2017), los criterios de selección incluían (i) un entorno político-económico estable, con el compromiso gubernamental de apoyar el proyecto; (ii) la disponibilidad de recursos humanos calificados; (iii) razonable estructura de costos (mano de obra, impuestos, aranceles, etc); (iv) un ambiente de negocios favorable; (v) buenas condiciones logísticas y de aprovisionamiento de servicios (energía, agua); y (vi) proceso expedito de permisos para la construcción de la nueva planta.

Si bien Costa Rica estaba considerada en la “lista larga” de *Intel*, la Agencia Costarricense de Atracción de Inversiones (CINDE) tenía la convicción de que el país tenía importantes ventajas comparativas para atraer inversión extranjera en el sector de electrónica debido a la relativa abundancia de trabajadores calificados y bilingües y su bajo costo relativo. Por tal razón, desde el año 1993 CINDE venía llevando a cabo un constante trabajo de cabildeo con *Intel* y otras grandes empresas del sector de la electrónica en Estados Unidos. El resultado fue que logró incluirse al país en la “lista corta”, junto con Indonesia, Tailandia, Brasil, Argentina, Chile, y México.

²² <https://www.infobae.com/americas/america-latina/2023/11/06/estados-unidos-le-ofrecio-a-brasil-convertirse-en-una-de-las-fabricas-de-chips-mas-importantes-del-mundo/>

²³ Esta parte del texto está basada en la experiencia documentada en Monge-González (2017).

Lo anterior marcó el inicio de una segunda etapa, donde los funcionarios de la compañía realizaron visitas a esos países para recolectar más información y formarse mejor criterio sobre las condiciones de los mismos. Para el caso costarricense, jugaron a favor recomendaciones de otras empresas multinacionales en el país, así como el involucramiento del Presidente de la Nación en las labores de esta fase, dando muestras de un claro mensaje de compromiso político.

Finalmente, en noviembre de 1996, *Intel* anunció la decisión de instalar su nueva planta de ATP en Costa Rica, constituyéndose en la compañía multinacional con la mayor inversión registrada en el país hasta el momento, con montos iniciales proyectados en el orden de los US\$300-500 millones y el potencial de emplear a más de 2.000 trabajadores.

En sus primeros años de operación, las externalidades tecnológicas resultantes de los encadenamientos productivos con empresas domésticas fueron más bien escasas, debido principalmente al tipo de inversión inicial (las actividades del eslabón de ensamblaje y testeo son las de menor valor agregado de la cadena) y a la inexistencia de producción de insumos estratégicos en el país.

Estas dificultades se fueron superando parcialmente en el tiempo, con la incorporación de nuevas tareas de mayor valor agregado, en diseño de circuitos (intensivo en I+D) y prestación de servicios globales (asociado a la estrategia comercial de la empresa). Así, *Intel* Costa Rica pasó a ofrecer oportunidades de mayores encadenamientos productivos e integración tecnológica externa (colaboración en I+D con proveedores o clientes locales para las propias actividades de la empresa) para fomentar derrames de conocimiento y mayores encadenamientos productivos con el resto de la economía.

En el entretanto, la presencia de la empresa produjo además externalidades positivas en la economía local, entre las cuales se encuentran la promoción de estándares más altos para la seguridad ocupacional y la administración ambiental, la promoción de la inversión en educación y el capital humano en Costa Rica. Estos avances sirvieron también como antecedentes para la atracción de este tipo de IED, intensiva en conocimiento e innovación. De acuerdo con un estudio de Zolezzi y Miranda (2020), el efecto de *Intel* en Costa Rica puede cuantificarse como un aumento promedio de entre el 1,3% y el 2,6% en la tasa de crecimiento anual del PIB per cápita.

En 2014, la empresa migra sus operaciones de ensamblaje y testeo a Asia. Si bien esto fue un golpe para el país (las exportaciones de la empresa llegaron a representar el 20% del total comerciado por el país), se mantuvieron en el territorio las restantes actividades desarrolladas en los años previos, asociadas a un mayor valor agregado y una mayor calidad de encadenamientos en los segmentos intensivos en conocimiento. Frente a la crisis global de

la cadena desatada a partir de las interrupciones ocasionadas por la pandemia del COVID-19, y nuevamente con la mediación de CINDE, en 2021 la empresa anuncia la reapertura de las instalaciones de ensamblaje y testeo en el país, dándole a Costa Rica un rol clave en la fase de reestructuración global de la cadena²⁴.

3.4. Un lugar para Panamá

Actualmente, Panamá no participa en modo alguno en la CGV de semiconductores. No obstante, ante la necesidad de establecer nuevos caminos de desarrollo descrita en la Parte 2 de este documento, se ha manifestado, a través de diversos actores de relevancia, la intención nacional de comenzar a desempeñar actividades para esta cadena. Con experiencia en grandes proyectos como la construcción del Canal, el desarrollo de un *hub* aéreo, y más recientemente la debatida inversión minera (declarada inconstitucional por irregularidades contractuales), el país ha dado muestras de su capacidad para impulsar el desarrollo de nuevas actividades de elevado impacto en su economía.

Los esfuerzos nacionales de promocionar a Panamá como un futuro aliado para la CGV de semiconductores se coordinan desde la propia Presidencia y el Ministerio de Comercio e Industria (MICI). En la elaboración de la estrategia, participa una serie de actores relevantes, como lo son SENACYT (a cargo de los aspectos de ciencia y tecnología) y la Embajada de Panamá en los Estados Unidos, que viene llevando a cabo un intenso trabajo de diálogo a nivel público y privado para consolidar alianzas estratégicas. Desde lo público, el trabajo de la Embajada ha sido clave para lograr incluir a Panamá en el ITSI y establecer diálogos formales con el Departamento de Estado²⁵. La Embajada tiene en claro que los vertiginosos tiempos que maneja esta industria no necesariamente se acoplan a los tiempos del diálogo institucional, y por tanto ha comandado diversas conversaciones con empresas del sector privado, a fin de comenzar a poner al país en el radar, de la misma manera que lo hizo CINDE con Costa Rica treinta años atrás (ver Sección 3.3.3). En este punto, vale mencionar que la demanda mundial permite que exista espacio tanto para Panamá como para Costa Rica en la cadena, al punto que el propio Departamento de Estado sugirió a ambos países unir esfuerzos.

A estos actores se suman otros como ProPanamá (la agencia de atracción de inversiones y promoción de inversiones del país dependiente del MICI), e instituciones académicas. Estas últimas incluyen principalmente a la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), el Instituto Técnico Superior Especializado (ITSE), la Universidad de Panamá y diversos centros de investigación como el Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP), el Centro de

²⁴ <https://www.reuters.com/article/tecnologia-costarica-intel-idLTAKBN28K2AX>

²⁵ <https://www.state.gov/new-partnership-with-panama-to-explore-semiconductor-supply-chain-opportunities/>

Estudios Multidisciplinarios en Ciencias, Ingeniería y Tecnología (CEMCIT), Georgia Tech Panamá y el Instituto Nacional de Investigaciones Científicas Avanzadas en Tecnologías de Información y Comunicación (INDICATIC), entre otros.

Para la elaboración de una estrategia nacional, debe responderse a la pregunta de cuáles son las fortalezas que el país tiene para ofrecer a potenciales inversores. Para ello, es necesario considerar qué aspectos son relevantes para la industria de semiconductores, parte de los cuales fueron referenciados previamente, al analizar los casos de México, Brasil y Costa Rica. En general, puede decirse que, cualquiera sea la actividad de la cadena que se busque atraer, los siguientes puntos resultan claves en la decisión de instalación de las empresas: (i) estabilidad política y económica; (ii) ambiente de negocios favorable e incentivos de localización; (iii) existencia de un ecosistema y recursos humanos calificados; y (iv) buenas condiciones logísticas y de aprovisionamiento de servicios.

A continuación, se analizarán las fortalezas y debilidades de Panamá en cada uno de estos ejes, tomando en cuenta fuentes de datos usuales para este tipo de análisis, así como las conclusiones obtenidas a partir de una serie de entrevistas en profundidad realizadas en diciembre de 2023 a más de veinte informantes claves para el ecosistema panameño. Dichas entrevistas fueron llevadas a cabo por un equipo de investigadores del BID con el apoyo logístico y técnico de la SENACYT. En el Apéndice 1 se presenta el listado de los entrevistados.

3.4.1. Fortalezas y debilidades

i. Estabilidad Política y Económica

Panamá es un país pequeño, con una población estimada en 2022 de 4,4 millones de habitantes (Tabla 3.1). El país tiene 10 provincias, siendo la principal de ellas la que lleva su mismo nombre, donde se asienta más de un tercio de la población. Según la Constitución Política, el gobierno es unitario, republicano, democrático y representativo. Los presidentes duran 5 años en su cargo, sin posibilidad de reelección inmediata, y en mayo de 2024 se tendrá un nuevo proceso de elecciones generales para definir el próximo mandatario nacional desde el 1 de julio.

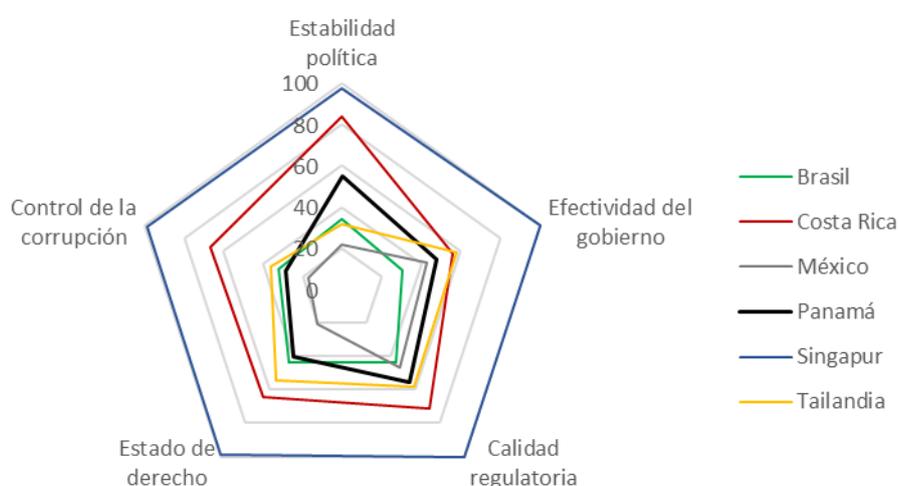
De acuerdo con los *Worldwide Governance Indicators* del Banco Mundial para 2022, en el eje de Estabilidad política, Panamá tiene una puntuación que supera a la del 55% de los más de 200 países cubiertos en la muestra (incluyendo a Brasil, México y Tailandia), pero quedando por detrás de países como Costa Rica o Singapur, que se encuentran en el 20% superior de la distribución (Figura 3.10)²⁶. A su vez, Panamá presenta un bajo desempeño en lo que

²⁶ En línea similar, en el Democracy Index 2023 de EIU (2023) Panamá se ubica en la posición 6 a nivel regional y 48 a nivel global.

respecta a los ejes del Estado de derecho (*rule of law*) y Control de la corrupción, donde se ubica por debajo del 60% y 72% de la muestra, respectivamente. En estos ejes, solo supera a México, pero está rezagado respecto a los demás países de referencia en la Figura 3.10. Finalmente, en lo que refiere a la Efectividad del gobierno y a la Calidad regulatoria, la posición del país es hacia el centro de la tabla (en ambos ejes se encuentra por encima de aproximadamente el 50% de la muestra, incluyendo a Brasil y México), y no tan distante de competidores como Costa Rica o Tailandia.

Figura 3.10. Worldwide Governance Indicators (2022).

Rango percentil, países seleccionados.



Fuente: Elaboración propia con base en datos de World Bank

En lo que respecta a la estabilidad económica, Panamá ha venido creciendo a una tasa anual promedio real del 5,4% entre 2010 y 2022, superando al ritmo presentado por los otros países en la Tabla 3.1. El coeficiente de variación del crecimiento es inferior al de México y Brasil, aunque superior al de Costa Rica. En lo que respecta al PIB per cápita, Panamá presenta el indicador más alto de la región, con US\$ 17,4 mil por habitante en 2022.

En cuanto a la inflación, el promedio entre 2010 y 2022 fue el menor dentro del grupo de los países de la región, y en línea con el de los países asiáticos contemplados en la selección. Sobre este particular, vale destacar que, desde 1904, la moneda de curso legal en Panamá es el dólar estadounidense. Si bien esto trae ventajas evidentes respecto del control de la inflación y la atracción de inversiones (luego de Singapur, Panamá es el país de la muestra con mayor flujo neto promedio de inversión externa directa como porcentaje de su PIB), puede presentar ocasionales desventajas debido a la vulnerabilidad a *shocks* de la economía estadounidense y a la imposibilidad de utilizar la política monetaria. Sin embargo, esto último parece no haber afectado a Panamá.

Finalmente, en la Tabla 3.1 se muestra que Panamá es el país con menor presión fiscal efectiva dentro del grupo de referencia. Esto es válido también si se considera la incidencia de los impuestos patrimoniales, a la renta y a las utilidades. Lo anterior configura un marco favorable para las inversiones externas, complementado con la existencia de zonas económicas especiales, y con los acuerdos de libre comercio que el país tiene con más de 50 socios alrededor del mundo, tal como se verá en el apartado a continuación. A su vez, legalmente (Ley 54 de 1998) las inversiones de más de US\$ 2 millones cuentan con estabilidad jurídica y fiscal por diez años desde su inicio.

Tabla 3.1. Indicadores económicos. Países seleccionados.

Indicador	Panamá	Costa Rica	México	Brasil	Tailandia	Singapur
PIB (miles de millones US\$, 2022)	76.5	69.2	1,465.9	1,920.1	495.4	466.8
Tasa de crecimiento promedio real (%, 2010-2022)	5.4	3.4	1.6	1.0	2.2	3.7
Coeficiente de variación tasa de crecimiento real (2010-2022)	1.4	0.8	2.1	2.9	1.3	0.8
Población (en millones, 2022)	4.4	5.2	127.5	215.3	71.7	5.6
PIB per cápita (miles de US\$, 2022)	17.4	13.4	11.5	8.9	6.9	82.8
Inflación anual (%, promedio 2010-2022)	1.9	3.0	4.4	6.2	1.6	1.8
Presión fiscal efectiva (recaudación como porcentaje del PIB, 2021)	7.5	14.0	13.5	14.3	14.3	13.1
Impuestos a la renta y utilidades (como porcentaje del PIB, 2021)	2.2	2.5	5.2	4.1	4.4	4.8
Inversión extranjera directa (flujo neto como porcentaje del PIB, promedio 2010-2022)	6.7	5.2	2.7	3.6	2.0	23.8

Fuente: Elaboración propia con base en datos de World Bank

ii. Ambiente de negocios e incentivos

De acuerdo con el índice de facilidad para hacer negocios del Banco Mundial, Panamá presenta un nivel de competitividad ligeramente inferior al de Costa Rica (Tabla 3.2). Ambos países están por encima de Brasil y por debajo de México. En todos los casos, la región está lejos de los puntajes obtenidos por los países asiáticos de referencia, Tailandia y Singapur. Dentro de los principales pilares del Índice, Panamá ostenta una posición sobresaliente en cuanto a la Apertura de un negocio. En conjunción, los puntajes para la gestión de los permisos de construcción, de electricidad y de registro de propiedades sólo son superados

en la región por Costa Rica. Panamá lidera también en lo referente al Comercio transfronterizo. Por su parte, en los indicadores de facilidad para el Pago de impuestos, Cumplimiento de contratos y Resolución de insolvencia el país presenta registros bajos, señalando sus áreas de mejora para lograr consolidar nuevas inversiones.

Tabla 3.2. Facilidad para hacer negocios*. Países seleccionados (2020).

Indicador	Panamá	Costa Rica	México	Brasil	Tailandia	Singapur
<i>Índice general</i>	66.6	69.2	72.4	59.1	80.1	86.2
Apertura de un negocio	92.0	79.9	86.1	81.3	92.4	98.2
Manejo de permisos de construcción	68.2	70.8	68.8	51.9	77.3	87.9
Obtención de electricidad	83.5	88.9	71.1	72.8	98.7	91.8
Registro de propiedades	65.2	74.4	60.2	54.1	69.5	83.1
Pago de impuestos	46.7	78.0	65.8	34.4	77.7	91.6
Comercio transfronterizo	85.5	77.6	82.1	69.9	84.6	89.6
Cumplimiento de contratos	49.0	55.2	67.0	64.1	67.9	84.5
Resolución de la insolvencia	39.5	34.6	70.3	50.4	76.8	74.3

* El informe *Doing Business* fue discontinuado por el Banco Mundial en septiembre de 2021, y luego de una profunda revisión metodológica será reemplazado por un nuevo informe, *B Ready* (<https://www.worldbank.org/en/businessready>), cuya primera edición se espera paraseptiembre de 2024.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de World Bank

Detrás de estos indicadores hay todo un andamiaje de políticas que Panamá ha ido desarrollando con el fin de atraer y promover la inversión de empresas multinacionales en el país, para potenciar los empleos de calidad y el derrame de conocimientos en el ecosistema local. Dos marcos claves en este sentido son los regímenes de Sedes de Empresas Multinacionales (SEM) y de Empresas Multinacionales para la Prestación de Servicios Relacionados con la Manufactura (EMMA).

El régimen SEM (Ley 41 de 2007) permite a las empresas establecer una sede regional en Panamá, desde donde brindan servicios a sus filiales o subsidiarias en otros países. Estos servicios están asociados a lo que comúnmente se conoce como *backoffice*: administración, contabilidad, logística, finanzas, soporte de operaciones, entre otros. Por su parte, el EMMA (Ley 159 de 2020) se presenta como una ampliación reciente en el alcance del SEM, permitiendo a las empresas realizar actividades de manufactura, ensamblaje, mantenimiento, reparación, procesamiento o remanufactura de productos, así como servicios de I+D, diseño, ingeniería, pruebas, certificación, y capacitación, entre otros. Ambos regímenes ofrecen beneficios fiscales, migratorios, laborales y aduaneros, así como la posibilidad de establecerse en zonas económicas especiales o en cualquier lugar del territorio nacional. Para ello, la Dirección de Sedes de Empresas Multinacionales en el Ministerio de Comercios e Industrias (MICI) funciona como una ventanilla única (*one stop shop*) donde la empresa aplica a su licencia, se procesan sus trámites migratorios y el registro de la seguridad jurídica, con resultados en un plazo ágil que va de 30 a 40 días.

En complemento, el país cuenta con tres tipos de zonas económicas especiales: la zona libre de Colón, la zona económica especial de Panamá Pacífico y las zonas francas. Las zonas económicas especiales han creado un ambiente favorable a los negocios que ha contribuido a atraer inversiones locales y extranjeras (Hausman *et al.*, 2016). Cada una de estas zonas tiene sus propias características, requisitos y actividades permitidas, que se regulan por diferentes normativas legales:

- La zona libre de Colón es la zona franca más grande de América y la segunda más grande del mundo, ubicada en la ciudad de Colón, en la entrada atlántica del Canal de Panamá. Su régimen data del año 1948 (Ley 18), y se enfoca principalmente al comercio internacional de mercancías, servicios logísticos, financieros y de telecomunicaciones.
- La zona económica especial de Panamá Pacífico es una zona de desarrollo integral, ubicada en la antigua base militar estadounidense de Howard, en la entrada pacífica del Canal de Panamá. Cuenta con facilidades clave como un aeropuerto internacional, un puerto marítimo, y un parque industrial. El régimen se inició legalmente en 2004 (Ley 41), enfocado en actividades de alta tecnología, manufactura, servicios corporativos, logística, I+D, entre otras. Algunas de las empresas que se han instalado en esta zona son Dell, 3M, BASF, entre otras firmas que tienen vínculos con la cadena de semiconductores a nivel global.
- Las zonas francas (ZF) son áreas delimitadas dentro del territorio nacional, que pueden ser públicas o privadas, y que se dedican a actividades industriales, agroindustriales, científicas, tecnológicas, de servicios o de cualquier otro tipo que el Estado considere conveniente. Este marco, creado en 2011 (Ley 32), cuenta con 12 zonas activas y seis en desarrollo a lo largo de todo el país.

Estos regímenes ofrecen exenciones impositivas sobre los patrimonios, las utilidades y los bienes utilizados para la producción. Los beneficios son garantizados por ley. Todo lo anterior contribuye no solo a moldear condiciones para que empresas de semiconductores puedan interesarse en instalarse en el país, sino también otras conexas, permitiendo así generar un ecosistema. De todas maneras, en lo que respecta a semiconductores, se puede llegar a necesitar paquetes especiales de incentivos, diseñados a la medida de las demandas de la cadena y de la competencia que ofrecen otros posibles destinos²⁷.

²⁷ A la hora de agregar incentivos específicos, debe tenerse en cuenta que el país cuenta actualmente con más de 50 leyes de incentivos y que esta diversidad de instrumentos puede traducirse en algo negativo, toda vez que esto implica multiplicación de esfuerzos administrativos.

iii. Ecosistema y capital humano

Tal como se revisó previamente en las experiencias de México y Brasil, la creación de ecosistemas productivos y de conocimiento resulta un factor clave para propiciar el desarrollo local de la cadena de semiconductores. En Panamá, bajo los regímenes de SEM y EMMA, hay más de 180 licencias otorgadas a empresas especializadas en manufactura y, en menor medida, en sectores tecnológicos. No obstante, a la fecha son pocas las actividades de producción concretas que se desempeñan en el país (el régimen EMMA es aún reciente, con inicio en 2020) y eso resulta un limitante para el proyecto de atracción de semiconductores. Esto es, el enfoque de la estrategia no puede limitarse con exclusividad a la cadena, sino que debe operar paralelamente para desarrollar industrias conexas que permitan un desarrollo sinérgico. Con la creciente influencia que los demandantes de chips (para aplicaciones específicas en IA, IoT, y 5G, entre otras) están ejerciendo sobre la cadena (McKinsey, 2023), atraer a este tipo de empresas resulta estratégico.

El ecosistema, no obstante, no se define solo por la presencia de empresas, sino también del talento especializado que éstas demandan. En este sentido, Panamá ha demostrado ser exitosa en crear las capacidades necesarias para permitir el desarrollo de nuevos sectores en el país. Un ejemplo ha sido el de la industria aeronáutica²⁸. Actualmente, en lo que refiere a la industria de semiconductores, son las propias universidades las que están liderando proactivamente iniciativas de desarrollo de talento para esta cadena.

La Universidad Tecnológica de Panamá (UTP) es la cabeza de esta avanzada, con su incipiente Centro de Tecnologías Avanzadas en Semiconductores (C-TASC), a cargo de la Comisión Especial de Semiconductores compuesta por investigadores de esta casa de estudios²⁹. Se trata de un centro sin fines de lucro para la capacitación e innovación académica basado en las necesidades de esta industria, resultado del trabajo conjunto con el sector público (SENACYT, MICI, ProPanamá, entre otros actores) y el privado.

En su visión de largo plazo, se contempla que el C-TASC cuente con siete unidades: Laboratorio de Diseño de semiconductores; Cadena de suministro de semiconductores e inteligencia de negocios; Planta piloto de embalaje de semiconductores; Laboratorio de caracterización de materiales; Laboratorio de Aplicaciones de Ingeniería; Laboratorio de Procesos de Fabricación de Semiconductores; Laboratorio de análisis de datos de

²⁸ En 2009, *Singaporean Aerospace* estableció una subsidiaria en Panamá llamada *Panama Aerospace Engineering* (PAE), el primer centro de mantenimiento, reparación y revisión de aeronaves (MRO) Embraer 190 en América Latina. Para desarrollar el talento local, la empresa colaboró con el gobierno de Panamá, la Agencia del Área Económica Especial Panamá-Pacífico (AAEPP) y el Instituto Nacional de Formación Profesional y Capacitación para el Desarrollo Humano (INADEH) para ofrecer programas de capacitación y certificación a los técnicos panameños. Estos programas incluyen cursos teóricos y prácticos, así como pasantías en las instalaciones de *Singaporean Aerospace* en Singapur y otros países.

²⁹ La UTP cuenta ya con 5 Centros de I+D y un centro de innovación, siendo este último el único localizado fuera de Ciudad de Panamá, con foco en agronegocios, energía e industrias creativas (Maggi, 2019). A su vez, la UT cuenta con laboratorios de diversas especialidades que son patrocinados por el sector privado.

semiconductores. Al momento de la redacción de este documento, se estaba avanzando en la elaboración de un estudio de factibilidad del C-TASC para abrir una línea financiera siguiendo los procesos administrativos requeridos para disponer fondos públicos en 2025. También se estaba contemplando solicitar financiamiento a SENACYT a partir de los fondos disponibles de un préstamo vigente con el BID para la creación de centros de investigación.

Apoiada por la SENACYT, la UTP recientemente ha capacitado a cuatro investigadores en materia de tecnologías de *backend* en el Centro de Integración Tecnológica de Dispositivos Semiconductores (CITC) en los Países Bajos. Adicionalmente, se encuentra trabajando estrechamente con *Arizona State University* (ASU), a fin de diseñar programas conjuntos y facilitar estancias de estudio para los estudiantes de la UTP. De esta manera, la UTP comienza a consolidar una red de conocimiento con el fin de incorporar temas específicos de semiconductores en su currícula, así como diseñar programas especializados.

La UTP es la primera universidad del país en el ranking QS, y se encuentra en el top 100 en Latinoamérica. A su vez, tiene experiencia colaborando con el sector privado; por ejemplo, actualmente es la única institución que tiene líneas de trabajo con la Cámara de Empresas Multinacionales (CASEM). Según datos propios, en 2023 contaba con unos 6 mil estudiantes en Ingeniería de Sistemas Computacionales; casi 3 mil en Ingeniería Eléctrica y casi 4 mil en Ingeniería Mecánica. Las tres carreras suman un promedio de 4 mil egresados anuales con potencial de inserción en la cadena de semiconductores.

Estos profesionales se suman a los provenientes de otras casas de estudios en el país. Una de ellas es el Instituto Técnico Superior Especializado (ITSE), creado a fines de 2017 y con matrícula desde 2019, con el objetivo de brindar formación rápida de perfiles técnicos y capacitaciones que permitan actualizar y convertir a los profesionales panameños de acuerdo con las demandas modernas de los sectores productivos (ITSE, 2024)³⁰. Actualmente, el ITSE se encuentra en pleno proceso de crecimiento, con una matrícula a fines de 2023 en torno a los 2.000 estudiantes con un ritmo de crecimiento exponencial y la perspectiva de llegar a los 5.000 en el futuro próximo. De las cuatro escuelas que conforman al ITSE, las más relevantes para generar ecosistema para la CGV de semiconductores son las de innovación digital y tecnología industrial.

Si Panamá logra consolidarse, como es la visión de la Comisión Especial, como un “*hub* de talento para semiconductores”, puede encontrar un pilar sólido para atraer actividades de la cadena al país. Naturalmente, aparece aquí un dilema del tipo “el huevo o la gallina”,

³⁰ La metodología de creación de carreras del ITSE se basa en la conformación de mesas técnicas donde se plantean mallas iniciales que luego pasan por las revisiones de estas mesas con el sector productivo. Se plantean revisiones de contenido periódicas en lapsos no superiores a los 3 años. Según fuentes del ITSE, para las primeras cohortes de egresados, esto ha permitido inserciones laborales incluso antes de las prácticas obligatorias mediante un programa de colaboración academia-industria. La inserción ronda el 60-70% en el primer año, con un promedio salarial que casi duplica al mínimo.

planteando la pregunta de si primero debe tenerse industria para atraer talento, o primero desarrollar talento para atraer industria. En el incipiente desarrollo de la estrategia de semiconductores de Panamá, parece haber un consenso respecto de que es necesario avanzar por ambas vías en simultáneo: desarrollar las capacidades que requiere la industria, y procurar una empresa ancla que abra las puertas al sector³¹. Esta estrategia debe complementarse con el aporte de capital humano especializado extranjero, como condición de base para el derrame de conocimiento a nivel local, algo que puede generar externalidades positivas para el país, tal como lo muestran Szekeli y Linares (2018)³².

Finalmente, como se señala en Filippo *et al.* (2023), vale destacar que las empresas del sector han demostrado siempre una gran vocación de crear talento en las localizaciones donde operan, lo cual está íntimamente relacionado con los problemas que enfrentan para conseguir y retener recursos humanos. Esto se ve reflejado en las distintas iniciativas empresariales de colaboración con la academia en co-creación de programas especiales, en la implementación de pasantías y en el fomento de que sus propios recursos se desempeñen también como profesores en estos espacios. Sin embargo, bajo la normativa de inmigración actual, trabajadores externos no tienen permitido enseñar en universidades panameñas (Hausmann *et al.*, 2017)³³.

iv. Logística y servicios

En la industria de los semiconductores, el tiempo lo es todo. Los ciclos de vida de los productos son cortos, y la velocidad en la entrega de componentes es esencial. Cualquier retraso en la cadena de suministro puede afectar significativamente la capacidad de lanzar nuevos productos al mercado. En una cadena sumamente globalizada, esto adquiere especial relevancia, sobre todo en lo que respecta a la resiliencia.

Sobre este particular, Panamá tiene una gran ventaja como punto clave de la logística internacional, no solo a través de su canal, sino de su *hub* aéreo. Esto contribuye a que Panamá se posicione ligeramente por encima de sus competidores regionales en el puntaje

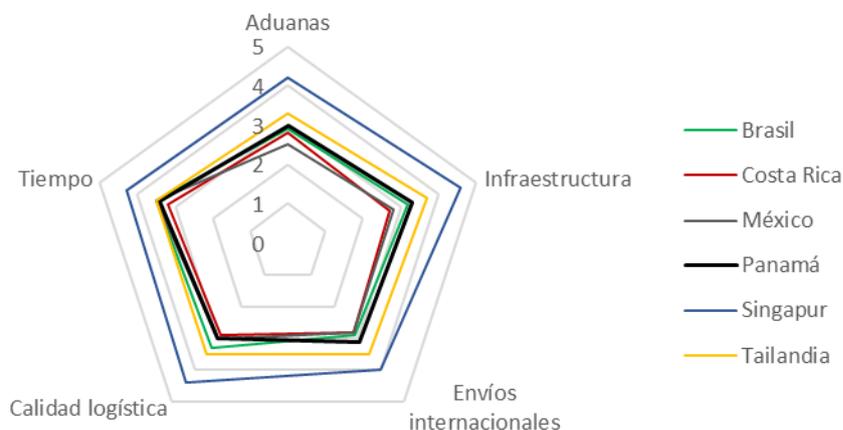
³¹ El desarrollo de talento sin contar con una empresa ancla en el país puede suscitar dudas respecto de la posibilidad de que los recursos formados luego se “fuguen” a otras geografías. Sin embargo, esto no aparece como una gran preocupación para las fuentes consultadas, que se encargan de subrayar un “efecto diáspora” de los panameños que emigren y hagan contactos en la industria en el exterior, habilitando nuevos canales para el desarrollo de actividades de la cadena en el país. Adicionalmente, y en línea con lo señalado respecto de la necesidad de una estrategia de desarrollo integral de actividades intensivas en conocimiento, las capacidades creadas para la industria de semiconductores pueden ser útiles también para actividades relacionadas que puedan también ser objeto de tal estrategia.

³² La inmigración de trabajadores calificados es una forma de resolver el dilema del huevo o la gallina planteado para la formación de capacidades locales. Un ejemplo lo proporciona el caso de Copa Airlines, que al iniciar sus operaciones trabajaba casi exclusivamente con pilotos extranjeros que fueron los encargados de formar a los pilotos panameños (Hausmann *et al.*, 2017).

³³ En adición, existen otros inconvenientes sobre las facilidades migratorias del país que dificultan el derrame de conocimientos. Por ejemplo, las visas especiales otorgadas a trabajadores extranjeros que se trasladan a Panamá patrocinados por empresas multinacionales cesan tan pronto como cese la relación contractual entre ellos. A su vez, según lo dispuesto en la Ley SEM y las ZEE, los años acumulados por trabajadores extranjeros en Panamá no se consideran válidos para efectos de residencia, y sus dependientes no pueden trabajar. Además, las visas de trabajo deben renovarse anualmente a un costo considerable (entre US\$ 2.000 y US\$ 3.000). Finalmente, las empresas fuera de las ZEE sólo pueden contratar un máximo del 10% de mano de obra extranjera (Hausmann *et al.*, 2017).

del Índice de Desempeño Logístico del Banco Mundial (Figura 3.11). No obstante, pendientes en materia de logística interna sostienen al país aún lejos de los *benchmarks* asiáticos.

Figura 3.11. Índice de desempeño logístico (2023), países seleccionados.
(0 peor, 5 mejor)



Fuente: Elaboración propia con base en datos de World Bank

El rol de *hub* logístico regional que tiene el país redundante en la presencia de algunas de las empresas que se encargan de prestar esos servicios a la cadena de semiconductores. Estos incluyen la adquisición, el transporte, el almacenamiento, la instalación, el mantenimiento, la trazabilidad y el reciclaje de los recursos necesarios para cada eslabón de la cadena, así como, en ciertos casos, la gestión de los inventarios. Las principales empresas que proveen estos servicios son *Global Logistical Connections* (Estados Unidos), *DHL* (Alemania), y *Moldstock* (España). Con sede central en Panamá, *J. Cain & Co* es una empresa logística que abastece, entre otros sectores, también al segmento de semiconductores.

Si bien el sector logístico mantiene cierta reserva en sus actividades, puede constituirse como un aliado clave para la estrategia nacional de atracción de actividades de la cadena.

El tiempo no es importante sólo en lo que refiere al movimiento y disposición de los productos en sus diferentes fases, sino también en cuanto al suministro de los servicios claves. Por caso, los costos de un corte energético de una hora que interrumpa el proceso de *frontend* (que normalmente dura varias semanas o meses, dependiendo de la complejidad) pueden escalar a varios millones de dólares, ocasionando una total interrupción logística (Galbrun-Noel, 2021). Es por esto que las costosas plantas de *frontend* se construyen con rigurosos sistemas de respaldo para prevenir estos incidentes. De todas maneras, las empresas otorgan una gran relevancia a la calidad del suministro energético. En el índice de fiabilidad del suministro del Banco Mundial, Panamá tiene una brecha para cerrar frente a competidores regionales como Costa Rica y México (Tabla 3.3). En lo que refiere al acceso a la energía eléctrica (número de procedimientos y días necesarios para obtener una conexión a la red

fija), el país se ubica entre los más competitivos de la región. En cuanto al costo (medido como porcentaje del ingreso per cápita nacional), Panamá es incluso más competitivo que Tailandia.

Tabla 3.3. Indicadores de acceso a la energía (2020). Países seleccionados.

	Procedimientos (número)	Tiempo (días)	Costo (% de ingreso per cápita)	Fiabilidad del suministro (0-8)
Brasil	5	129	203.4	6
Costa Rica	5	39	158	8
México	7	100	264.4	7
Panamá	5	35	15.3	6
Singapur	4	26	22	7
Tailandia	2	30	3.9	8

Fuente: Elaboración propia con base en datos de World Bank

Adicionalmente, el origen de esta energía es también muy importante para la cadena. La producción de semiconductores (fundamentalmente, el eslabón de *frontend*) es una de las más contaminantes que existe³⁴. Por eso, la cadena busca, a nivel agregado, minimizar su impacto ambiental. Según los datos de la Autoridad Nacional de los Servicios Públicos, para 2020 el 71,4% de la generación eléctrica nacional provino de fuentes renovables, principalmente hidroeléctricas, constituyendo una gran ventaja para el país.

3.4.2. Oportunidades abiertas

Panamá tiene numerosas fortalezas sobre las que construir una estrategia para la atracción de actividades de la cadena de semiconductores a su territorio. Tal estrategia deberá lograr saber explotarlas, plantear soluciones a las brechas con los países competidores, y además definir con claridad su norte. Respecto de este último punto, se ha mencionado que el actual proceso de reconfiguración que enfrenta la CGV abre una gama de oportunidades en las que la estrategia nacional deberá encontrar el lugar que le permita coordinar sus acciones a futuro.

La principal ventana de oportunidad viene dada por el *ITSI Fund* de los Estados Unidos, en el marco de completar la estrategia nacional de este país, presentada en su *CHIPS and Science Act*. Este fondo señala el interés de los Estados Unidos en desarrollar capacidades de *backend* en países aliados de occidente. El texto nombra específicamente a países de la región con experiencia en la cadena, como México y Costa Rica, pero también a Panamá,

³⁴ La industria de los semiconductores representó aproximadamente 41 millones de toneladas de CO₂ en 2020, lo que equivale al uso de energía de más de 5 millones de hogares en un año (Huang, 2022).

gracias al trabajo de las autoridades nacionales en la Embajada para visibilizar al país como un socio viable.

Si bien tradicionalmente el talento y las capacidades de base en *backend* fueron consideradas como de baja utilidad para lograr desarrollar otros eslabones de mayor valor agregado (Varas *et al.*, 2021), actualmente eso ha cambiado. Las nuevas tendencias de la industria avizoran una creciente relevancia de las actividades de *backend* para lograr productos más eficientes y competitivos, para lo cual será necesario un trabajo más cercano con los eslabones previos (diseño y *frontend*). Estas tendencias pueden alterar las estructuras de mercado en el mediano plazo, y será clave para Panamá lograr socios estratégicos frente a estos nuevos escenarios. En principio, estos aliados pueden venir tanto de OSATs estadounidenses como de empresas integradas (IDM).

En el caso de tratar con empresas integradas, el camino podría seguir de cerca los pasos dados por *Intel* en Costa Rica, donde la empresa inició operaciones en *backend* para luego añadir ciertas tareas de diseño. En el caso de buscar aliados bajo el modelo OSAT, debe tenerse presente que se trata de un modelo que se está reconfigurando ante la nueva coyuntura global. Esto puede motivar que las empresas tengan interés en una reconfiguración geográfica de sus actividades. Panamá podría entrar en conversaciones con OSATs americanas, como *Amkor*, que actualmente no tiene actividades productivas de relevancia en América. También podrían procurarse acuerdos con OSATs más pequeñas, dedicadas a segmentos específicos de mercado en los cuales Panamá encuentre conveniente insertarse. Para esto último, hay dos acciones fundamentales: los socios estratégicos y el ecosistema.

Los aliados estratégicos dentro del sector permitirán patrocinar a Panamá como una alternativa viable para las decisiones de negocio de las empresas. El trabajo que UTP viene realizando con ASU va en esta dirección. Este trabajo conjunto proporciona ciertas garantías sobre el compromiso del país con generar la fuerza laboral adecuada para las necesidades de la industria. De hecho, el talento es uno de los recursos más escasos para esta cadena, ya que compite no sólo consigo misma (en una fase de expansión y reconfiguración de la producción), sino con otras verticales tecnológicas (Filippo *et al.*, 2022-b). De acuerdo con un informe de Deloitte (2022), para que Estados Unidos pueda cumplir los objetivos trazados por la *CHIPS and Science Act*, deberá conseguir entre 70 y 90 mil trabajadores adicionales en los próximos años. Para 2030, el informe estima un déficit de más de un millón de trabajadores a nivel mundial, a lo cual debe sumarse la necesidad de readaptación de habilidades en el talento ya formado. De esta manera, el mundo necesitará números *hubs* de formación de talento especializado distribuidos a lo largo del mundo. Por eso, incluso si los recursos

formados en Panamá emigraran, continuarían siendo una pieza importante para la promoción del país como parte de esta cadena.

Por su parte, tal como se vio en los casos de México y Brasil, el ecosistema es sumamente relevante para atraer a la cadena. En la actual coyuntura, los semiconductores para aplicaciones específicas habilitadas por nuevas tecnologías como el IA, IoT, y el 5G pueden permitir diversas oportunidades de negocio en el sector de la electrónica (McKinsey, 2022). Es por eso que la estrategia panameña no debe encasillarse únicamente en la CGV de los semiconductores, sino en abordar también acciones paralelas en un conjunto de actividades más amplio que en última instancia irán moldeando el presente y el futuro de esta cadena. Atraer estas actividades puede incluso permitir al país desempeñar actividades de *frontend* en semiconductores de tecnologías *legacy*, normalmente menos sofisticadas y de menor inversión relativa frente a los semiconductores de frontera, pero que serían un valioso paso para el país.

4. Recomendaciones de política

Panamá se encuentra frente al desafío de lograr consolidar una estructura productiva compatible con una senda de crecimiento sostenible. Para lograrlo, debe apuntar a desarrollar en su territorio ciertas apuestas estratégicas que le permitan complejizar su economía y fortalecer su ecosistema de ciencia, tecnología e innovación.

Tomando en cuenta este punto de partida, el país puede aprovechar el proceso de reconfiguración por el cual atraviesa la CGV de los semiconductores. Esta cadena tiene una alta intensidad en conocimiento y tiene una influencia estratégica en la economía mundial, toda vez que se trata de productos habilitantes para las nuevas tecnologías que están redefiniendo la forma de producir a lo largo y ancho del mundo. Se trata de una cadena que ha estado en mano de pocos países, y que hoy se encuentra atravesando una batalla de liderazgo sobre todo entre Estados Unidos y China. Dado esto, Estados Unidos ha puesto en funcionamiento una estrategia para recuperar posiciones de mercado en el eslabón de semiconductores avanzados y, para que esto tenga sentido, el país necesita además localizar otras actividades de la cadena en países aliados de occidente. En este contexto, Panamá aparece como uno de los señalados como potenciales aliados en el *ITSI Fund*.

A partir de lo anterior, distintas instituciones del país vienen realizando acciones para integrar a Panamá a esta CGV. Si bien existe actualmente una mesa de trabajo liderada por la Presidencia de la República, no todas las iniciativas responden a ese espacio de trabajo conjunto, por lo que una primera recomendación de política es clarificar el liderazgo de la estrategia nacional, y establecer espacios útiles que permitan dar respuesta no solo a los tiempos de la política (en relación a los acuerdos con Estados Unidos u otros potenciales socios) sino a los de la industria, tratando con potenciales aliados empresariales (para los cuales, el compromiso del gobierno nacional es una importante variable a considerar en su decisión de instalación). A partir de este espacio, el país debería focalizarse no solo en las conversaciones con Estados Unidos, sino también en otros países considerados en el *ITSI Fund*. Por ejemplo, una coalición con Costa Rica podría mejorar la visibilidad de Panamá y fortalecer las acciones que cada país pudiera abordar individualmente. Esto es válido no solo a nivel de gobierno central, sino con gobiernos subnacionales o las universidades.

En adición a la coordinación de la estrategia nacional sobre semiconductores, el país debe establecer una agenda clara en CTI y en sectores complementarios a los semiconductores, sobre todo aquellos que prometen estar en el centro de los avances de la próxima década: 5G, IoT, IA, ciberseguridad. En la misma agenda de conocimiento, el país puede y debe aprovechar su posición ya ganada en ciencias de la vida y en insumo para la salud. Tomando en cuenta esto, un líder natural podría ser la SENACYT, a partir del lanzamiento de su próximo

plan estratégico operativo a partir de 2025. Una de las principales ventajas que posee SENACYT es la continuidad que ha logrado en los instrumentos de apoyo a la CTI, lo cual permite una agenda de trabajo con horizontes de mediano plazo. Sin embargo, tomando en cuenta las áreas de mejora de la institución, un liderazgo de SENACYT debería ser complementado con el de otras instituciones más cercanas al sector productivo, y establecer una agenda conjunta que permitan desarrollar y difundir conocimiento útil para mejorar la productividad panameña.

Dentro de esta estrategia integral enfocada en la economía del conocimiento (donde se incluyen los semiconductores), Panamá enfrenta una fuerte necesidad de aumentar su producción de talento CTI. Es una oportunidad para actualizar los programas y las estrategias de enseñanza universitarias, e incluso establecer acuerdos con empresas para el diseño de nuevas propuestas curriculares. Panamá puede aprovechar su experiencia para convertirse en un *hub* de talento tecnológico regional que sirva como atractor de empresas. Por su parte, tener un seguimiento de los profesionales en el exterior puede contribuir a formalizar una red que contribuya a difundir al país como generador de talento de avanzada.

En complemento, el país requerirá concretar *first movers* que validen la estrategia planteada y sirvan de señalización para otras empresas en el espectro. Para esto, la embajada del país en los Estados Unidos y las agencias locales de atracción de inversiones (ProPanamá, Dirección de Sedes de Empresas Multinacionales) deberán estar coordinadas en ofrecer paquetes adecuados a las necesidades de cada vertical objetivo, y la de semiconductores en particular. De acuerdo con el análisis, las empresas que realizan actividades de *backend* (sea en el modelo especializado OSAT o en el integrado IDM) serán los objetivos naturales, siempre teniendo en cuenta los cambios tecnológicos que este modelo está enfrentando, y que pueden significar un cambio en las estrategias de negocio de las empresas en el futuro cercano. Por otro lado, muchas de las empresas logísticas que actualmente proveen servicios especializados a la CGV de semiconductores ya se encuentran operando en Panamá; establecer una estrategia que incluya a estos actores puede facilitar la visibilización del país en el ecosistema empresarial. Lo mismo ocurre con aliados en la academia, como es el caso de ASU.

No obstante, en el ánimo de crear una base de conocimientos y fomentar un ecosistema en torno a la cadena, Panamá podría apuntar, paralelamente, a atraer también actividades conexas con menores barreras a la entrada. En este grupo se pueden incluir a los distintos productos químicos y materiales que insume la cadena y que, como en el caso del *backend*, hoy se encuentran fundamentalmente concentrados en países asiáticos. Las placas de circuitos integrados (PCB) y el refinamiento de sustancias químicas a grado electrónico

pueden ser segmentos oportunos para el país, dado que ya hay experiencia de trabajo con estándares similares en la industria de insumos médicos.

El régimen EMMA es aún joven, y puede aprovechar para incorporar mejoras de la mano de la interacción con las empresas asociadas a estas tecnologías emergentes, en conjunto con los encargados de la política nacional de CTI, como lo es SENACYT. Será importante contar con un paquete sólido que sirva, a la vez, para atraer capitales y dar perspectivas de desarrollo local. Este plan debe ser capaz de competir con otros ofrecidos internacionalmente por países rivales en la atracción de actividades de *backend*. Panamá debe lograr ser lo más competitiva posible en lo referente a CAPEX y OPEX, pero también enfatizar los ahorros logísticos que puede significar una operatoria en el país. En adición, como ya se señaló, el compromiso en la generación de talento es una señal también necesaria. La matriz energética nacional, fuertemente dominada por fuentes renovables, es también un punto favorable para el país.

La Tabla 4.1 presenta un resumen de las fortalezas y debilidades de Panamá respecto de su objetivo de incorporarse a la CGV de semiconductores, en conjunto con una síntesis de las acciones de políticas recomendadas.

Tabla 4.1. Resumen de fortalezas, debilidades y recomendaciones de política para la inserción de Panamá en la CGV de semiconductores

Dimensión	Ventajas	Desventajas	Recomendaciones
Estabilidad política y económica	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor estabilidad política que otros competidores en la región. - Economía dolarizada con baja inflación. - Baja presión fiscal 	<ul style="list-style-type: none"> - Mala percepción del país en cuanto al Estado de derecho (<i>rule of law</i>) y el Control de la corrupción 	<ul style="list-style-type: none"> - Separar a la estrategia nacional de semiconductores del ciclo político, tal como lo muestra la experiencia de continuidad de los instrumentos de apoyo a la CTI de SENACYT.
Ambiente de negocios e incentivos	<ul style="list-style-type: none"> - Acuerdos comerciales con socios estratégicos. - Regímenes especiales para la atracción de IED (SEM, EMMA). - Zonas económicas y zonas francas consolidadas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Superposición de competencias (ProPanamá, Dirección de sedes). - Enfoque en generar empleo antes que en derrame de conocimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Actualizar o ampliar regímenes en consistencia con la agenda nacional en CTI. - Adaptar incentivos fiscales para ser competitivo frente a otros países interesados.
Ecosistema y capital humano	<ul style="list-style-type: none"> - Proactividad en iniciativas como las de la UTP. - Alianzas con promotores como ASU. - Experiencia en impulso al desarrollo de ecosistemas nuevos 	<ul style="list-style-type: none"> - Limitada actividad industrial, baja complejidad económica. - Baja inversión en I+D, con poco involucramiento del sector privado y baja colaboración universidad-empresa. - Insuficiente vocación científica/ingenieril de estudiantes. - Sistemas migratorios poco favorables al derrame de conocimientos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Desarrollar una estrategia que no se agote en semiconductores, sino que alcance también a otras tecnologías emergentes (en general, demandantes de semiconductores) que permitan crear ecosistema. También incluir segmentos donde EE. UU. es débil y son dominados por Asia (Químicos, PCB). - Afectar fondos CTI específicamente para proyectos de investigación en semiconductores. Dirigir programas de becas orientados a capacidades relevantes para el sector. - Realizar alianzas con el sector privado para el diseño de programas de estudios específicos; modificar programas existentes para ampliar contenidos. - Alianzas con universidades extranjeras como patrocinadores de Panamá frente a las empresas del sector.
Logística y servicios	<ul style="list-style-type: none"> - Hub logístico, con presencia de proveedores de la CGV de semiconductores. - Matriz energética con alta participación de fuentes renovables, con suministro competitivo a nivel regional. 	<ul style="list-style-type: none"> - Áreas de mejora en logística interna. 	<ul style="list-style-type: none"> - La logística y la energía limpia son aspectos muy valorados por la CGV, y Panamá debe ser capaz de destacar sus fortalezas en estos ámbitos. - Considerar una alianza con el sector logístico como promotor del país.

Fuente: Elaboración propia.

Referencias

- Blyde, J. (2014). *Fábricas Sincronizadas: América Latina y el Caribe en la Era de las Cadenas Globales de Valor*, Informe Especial sobre Integración y Comercio, Banco Interamericano de Desarrollo, Washington D.C
- Deloitte (2022). The global semiconductor talent shortage. Recuperado de: <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/technology/articles/global-semiconductor-talent-shortage.html>
- Economist Intelligence Unit (2023). Democracy Index 2023. Recuperado de: <https://www.eiu.com/n/campaigns/democracy-index-2023/>
- Filippo, A., Guaipatín, C., Navarro, L., & Wyss, F. (2023). Las políticas de desarrollo productivo frente a los nuevos imperativos de las cadenas globales de valor. IDB Publications. <https://doi.org/10.18235/0005148>
- Filippo, A., Guaipatín, C., Navarro, L., y Wyss, F. (2022a). Cadena de valor de semiconductores: estructura y perspectivas de cara al nuevo escenario global. Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.18235/0004277>
- Filippo, A., Guaipatín, C., Navarro, L., y Wyss, F. (2022b). México y la cadena de valor de los semiconductores: oportunidades de cara al nuevo escenario global. Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.18235/0004276>
- Galbrun-Noel, C. (2021). How to Improve Power Reliability for Semiconductor Fabs. Schneider Electric. Recuperado de: <https://blog.se.com/infrastructure-and-grid/power-management-metering-monitoring-power-quality/2021/11/15/how-to-improve-power-reliability-for-semiconductor-fabs/>
- Hachemí, B. (2023). Advanced Packaging: Fueling the Next Era of Semiconductor Innovation. Semiconductor Digest, July 2023. Recuperado de: <https://www.elevatesemi.com/wp-content/uploads/2023/07/semiconductor-digest.pdf>
- Hausmann, R., Obach, J. & Santos, M.A., 2016. Special Economic Zones in Panama: Technology Spillovers from a Labor Market Perspective. Recuperado de <http://www.tinyurl.com/27pu7fr>
- Hausmann, R., Santos, M.A. y Obach, J. (2017). Appraising the Economic Potential of Panama: Policy Recommendations for Sustainable and Inclusive Growth. Recuperado de <http://www.tinyurl.com/264nlv9c>
- Huang, A. (2022). Driving Toward Net-Zero – Key Takeaways From Semiconductor Sustainability Summit at SEMICON Taiwan 2022. Semi. Recuperado de: <https://www.semi.org/en/blogs/semi-news/driving-toward-net-zero-key-takeaways-from-semiconductor-sustainability-summit-at-semicon-taiwan-2022>
- Iacovone, L., Muñoz, R., Olaberria, E. y De la Paz, M. (2021). Crecimiento de la productividad en México: Comprendiendo las dinámicas principales y los determinantes clave. Banco Mundial. Disponible en: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099100003252239077/pdf/P1708290be62f50cc080390abdafc918431.pdf>
- IMF (2023). Panama: Selected issues. Recuperado de: <https://www.imf.org/en/Publications/CR/Issues/2023/03/30/Panama-Selected-Issues-531631>
- Intel (2022). Oportunidades de desarrollo de semiconductores en México.

- ITSE (2024) Memoria ITSE 2023. Recuperado de: <https://www.itse.ac.pa/content/transparencia/MEMORIA-2023.pdf>
- Khan, S. (2021). Securing Semiconductor Supply Chains. Center for Security and Emerging Technology, January 2021. Recuperado de: <https://doi.org/10.51593/20190017>
- 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
- Maggi, C. (2029). Consultoría para el levantamiento de las capacidades institucionales y del ecosistema para la transferencia y emprendimiento tecnológico en Centroamérica. Recuperado de: <https://www.iadb.org/document.cfm?id=EZIDB0000434-1893391582-36>
- McKinsey (2023). Advanced chip packaging: How manufacturers can play to win. Recuperado de: <https://www.mckinsey.com/industries/semiconductors/our-insights/advanced-chip-packaging-how-manufacturers-can-play-to-win>
- Monge-González, R. (2017). Ascendiendo en la Cadena Global de Valor: el caso de Intel Costa Rica. Serie Informes Técnicos, 2017/8, Organización Internacional del Trabajo. Recuperado de: https://www.ilo.org/americas/oficina-regional/biblioteca-regional/WCMS_565465/lang--es/index.htm
- OECD (2022). Harnessing the power of AI and emerging technologies. Background paper for the CDEP Ministerial meeting. Recuperado de: [https://one.oecd.org/document/DSTI/CDEP\(2022\)14/FINAL/en/pdf](https://one.oecd.org/document/DSTI/CDEP(2022)14/FINAL/en/pdf)
- Slkor (2022) How Citigroup views the security of its semiconductor supply chain (Part 3: Assembly, Test and Packaging and Advanced Packaging). Recuperado de: <https://www.slkoric.com/other-experts/87173.html>
- Szekely, M., & Linares, J. (2018). Inmigración en Panamá: ¿Complemento o sustituto? Inter American Development Bank, <https://doi.org/10.18235/0001313>
- Tacsir, E. (2023). Evidencia sobre desafíos y oportunidades del sistema científico, tecnológico y de innovación de Panamá. Énfasis en las dimensiones de género, concentración geográfica de la I+D+i y los avances con relación al cambio climático. Producción bibliográfica basada en Scopus. Recuperado de: <https://www.iadb.org/document.cfm?id=EZIDB0000434-1893391582-31>
- UN (United Nations) (2013). UNCTAD World Investment Report. Global Value Chains: Invest - ment and Trade for Development. Disponible en https://unctad.org/system/files/official-document/wir2013_en.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
- Vasconcelos, Y. (2004). La carrera del chip. Brasil procura abrirse nuevos caminos tendientes a reducir su dependencia externa en el área de semiconductores. Pesquisa FAPESP, edición 100. Recuperado de: <https://revistapesquisa.fapesp.br/es/la-carrera-del-chip/>
- Vasconcelos, Y. (2018). El sueño del chip. La nueva fábrica de circuitos integrados de Qualcomm podrá poner a Brasil en el equipo de los productores globales de

semiconductores. Pesquisa FAPESP, edición 266. Recuperado de:
<https://revistapesquisa.fapesp.br/es/la-carrera-del-chip/>

World Economic Forum (2024). Future of Growth Report. Recuperado de
<https://www.weforum.org/publications/the-future-of-growth-report/>

World Bank (2020). World Development Report 2020: Trading for Development in the Age of Global Value Chains. Washington, DC: World Bank

WSTS (2023). World Semiconductor Market Forecast, World Semiconductor Trade Statistics (WSTS), en https://www.wsts.org/esraCMS/extension/media/f/WST/5263/WSTS_nr-2023_11.pdf

Xing, Y., Gentile, E. and Dollar, D. (2021) Global value chain development report 2021: Beyond production. Asian Development Bank, Research Institute for Global Value Chains at the University of International Business and Economics, the World Trade Organization, the Institute of Developing Economies – Japan External Trade Organization, and the China Development Research Foundation.
<https://dx.doi.org/10.22617/TCS210400-2>

Apéndice 1. Listado de entrevistados**Tabla A1.** Listado de entrevistados.

Persona	Institución	Cargo
Ramón Martínez	Embajada de Panamá en EE.UU.	Embajador
Franklin A. Morales C.	Embajada de Panamá en EE.UU.	Jefe de Misión Adjunto
Jeannette Díaz Granados	MICI	Directora General de Sedes de Empresas Multinacionales
Carmen Gisela Vergara	ProPanamá	Directora Ejecutiva
Carlos Kan	Autoridad de Innovación Gubernamental	Director Nacional de Innovación
Lilia E. Muñoz A.	Universidad Tecnológica de Panamá	Vicerrectora de investigación posgrado y extensión
Ana Clevis Lozano Rivera	Universidad Tecnológica de Panamá	Investigadora
Evgeni Svenk Cruz De Gracia	Universidad Tecnológica de Panamá	Investigador
Zoila Castillo	Universidad Tecnológica de Panamá	Investigadora
Elida de Obaldía	Universidad Tecnológica de Panamá	Investigadora
Juan Marcos Castillo	Universidad Tecnológica de Panamá	
Darío Solís	Arizona State University	Director de Desarrollo de negocios
Eduardo Ortega Barría	Secretaría Nacional de CTI	Secretario Nacional
Francisco García	SENACYT	Subdirector de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico
Omaira Michel Rodríguez	SENACYT	Directora de la oficina de coordinación de AIPs
Gilberto Gómez Muñoz	SENACYT	Secretario de Seguimiento al CICYT
Carlos Maynor Salinas Santano	SENACYT	Asesor
Julio Escobar	Centauri Technologies Corporation	CEO
Javier Arias	CENAMEP AIP	Director
Kenneth Delvalle	CENAMEP AIP	Director administrativo
Philippe Anierté	INDICATIC AIP	Director
Jorge E. Barnett Lawton	Georgia Tech Panamá	Managing Director
José Cuervo	CAPATEC	Presidente
Edgar Ivankovich	AES Panamá	Director de Asuntos Corporativos
Emanuel Lyons	Cámara de Comercio Industrias y Agricultura de Panamá	Director de Tecnología de Información y Comunicaciones
Henry Kardonsky	Panamá Pacífico	CEO