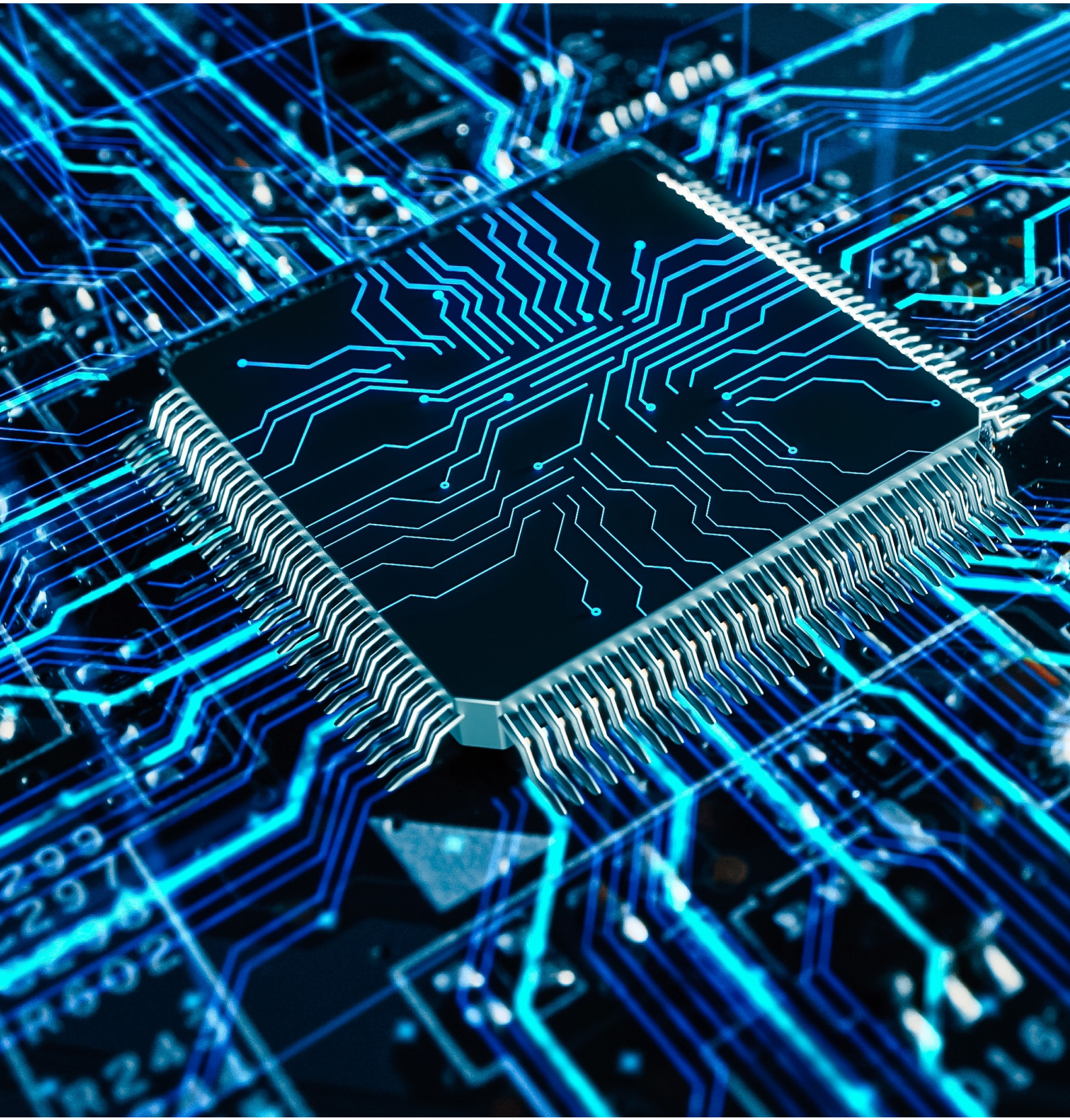
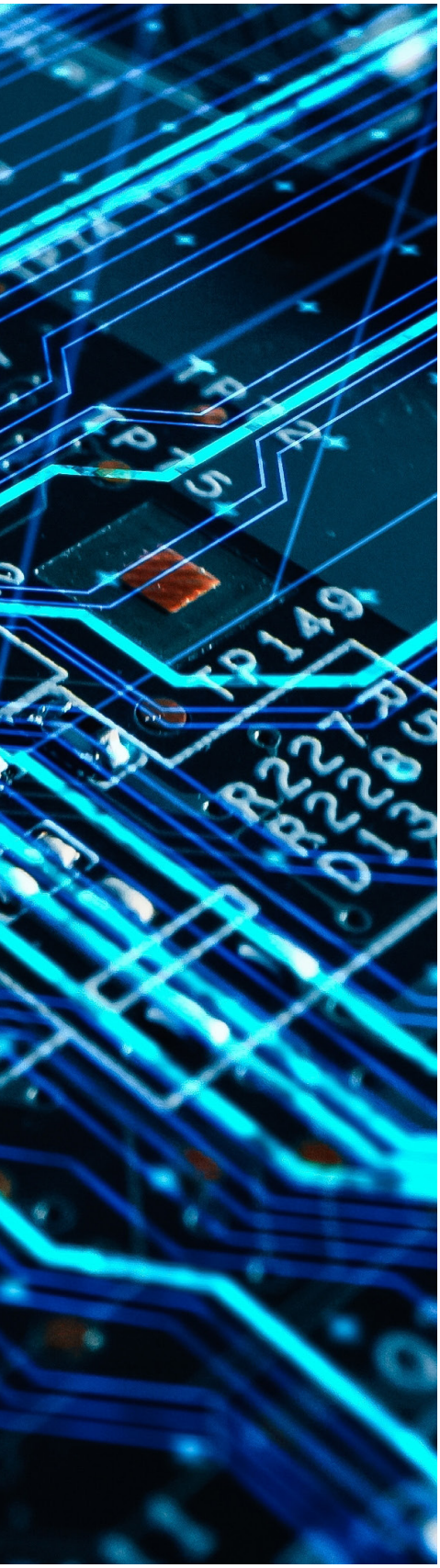


ISSN 2215-5910
Ensayo



NEARSHORING DE SEMICONDUCTORES EN COSTA RICA: ESTRATEGIA, CAPACIDADES Y CAPTURA DE VALOR

Recibido: 04 de diciembre, 2025 • Revisado: 18 de diciembre, 2025 • Aceptado:14 de enero, 2026

José Roberto Vega Baudrit,
Monserrat Vargas
y Armando Rojas

RESUMEN

El reordenamiento de las cadenas globales de valor, acelerado por la pandemia, las tensiones geopolíticas y las políticas industriales de las grandes potencias, ha generado una ventana de oportunidad acotada para que economías de escala media se inserten estratégicamente en la industria de semiconductores mediante esquemas de *nearshoring y friendshoring*. En este contexto, el estudio analiza la viabilidad de que Costa Rica fortalezca su participación no en la fabricación de obleas, sino en segmentos alineados con sus capacidades existentes, tales como ensamblaje, empaque y prueba (OSAT), servicios de validación y testeo, mantenimiento de equipos de precisión y aplicaciones de analítica e inteligencia artificial en manufactura avanzada.

Desde el enfoque de las cadenas globales de valor, se examinan las capacidades estructurales del país en capital humano, estabilidad institucional, régimen de zonas francas y plataforma científico-tecnológica, así como las principales brechas en infraestructura especializada, gobernanza interinstitucional, energía y conectividad. El trabajo concluye que Costa Rica puede consolidarse como un nodo confiable en segmentos específicos de la cadena global de semiconductores si aborda esta agenda como una política de Estado de largo plazo, alineando su política industrial con las nuevas dinámicas de seguridad económica y fortaleciendo de manera sostenida sus capacidades tecnocientíficas.

Palabras clave: nearshoring, semiconductores, cadenas globales de valor, innovación, política industrial, Costa Rica.

ABSTRACT

The recent reconfiguration of global value chains, driven by the pandemic, geopolitical tensions, and major industrial policies, has created a limited opportunity for medium-sized economies to pursue strategic insertion into the semiconductor industry through *nearshoring and friendshoring*. Within this framework, this study assesses Costa Rica's potential to strengthen its participation not in wafer fabrication, but in segments consistent with its existing capabilities, including assembly, packaging and testing (OSAT), validation services, precision equipment maintenance, and data- and AI-based solutions for advanced manufacturing.

Using a global value chains approach, the paper examines Costa Rica's structural assets in human capital, institutional stability, the free trade zone regime, and the national science and technology infrastructure, alongside key gaps in specialized infrastructure, interinstitutional governance, energy supply, and connectivity. The study concludes that Costa Rica can position itself as a reliable node in selected segments of the global semiconductor value chain if this agenda is treated as a long-term state policy and supported by sustained investment in technoscientific capabilities aligned with emerging economic and technological security frameworks.

Keywords: nearshoring, semiconductors, global value chains, innovation, industrial policy, Costa Rica.

José Vega Baudrit es director del Laboratorio Nacional de Nanotecnología LANOTEC CENAT (Costa Rica). Es profesor de LEAD University y de la Universidad Nacional, Escuela de Química.

Monserrat Vargas Solórzano es Diplomática de la Dirección de Política Exterior, Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto de Costa Rica. Investigadora asociada de LEAD University.

Armando Rojas Esquivel es Coordinador del Observatorio de Diplomacia Científica del CeNAT/CONARE y profesor del curso Economía Política Internacional de la Escuela de Administración Pública de la UCR. Tiene un MBA de la Universidad de Ottawa y es egresado de Economía de la UCR. Investigador asociado de LEAD University.

INTRODUCCIÓN

La reconfiguración reciente de las cadenas globales de suministro, impulsada por la pandemia de COVID-19, las tensiones geopolíticas y la aceleración tecnológica, está desplazando el centro de gravedad de la producción industrial hacia esquemas más regionales y resilientes. Este giro se expresa en estrategias de nearshoring y friendshoring que buscan reducir la dependencia de nodos concentrados en Asia, acortar las distancias logísticas y fortalecer proveedores ubicados en jurisdicciones consideradas seguras desde el punto de vista político, regulatorio y tecnológico (UNCTAD, 2024; World Economic Forum, 2023; BID, 2023).

En las cadenas globales de valor (CGV), este rediseño no implica una desglobalización plena, sino una recomposición de funciones entre regiones. La literatura sobre CGV muestra que lo relevante ya no es sólo dónde se produce físicamente, sino cómo se organizan el conocimiento, el diseño, la propiedad intelectual y la coordinación entre actores públicos y privados (Gereffi, 2018; Filippo *et al.*, 2022). En ese contexto, la industria de semiconductores se ha convertido en un caso emblemático: concentra inversiones de capital extremadamente altas, cadenas de suministro complejas y una creciente dimensión geopolítica vinculada a la seguridad económica y tecnológica.

América Latina aparece en este nuevo tablero como un socio potencial para la relocalización de segmentos específicos de la cadena de semiconductores, más por su estabilidad institucional, talento y matriz energética que por los costos laborales. Diversos análisis del Banco Interamericano de Desarrollo destacan que la región puede capturar oportunidades en actividades de ensamblaje, prueba y empaquetado (OSAT) y en servicios avanzados, siempre que logre articular la política industrial, el capital humano y marcos regulatorios estables (Filippo *et al.*, 2022; Filippo *et al.*, 2024).

Dentro de este grupo, Costa Rica ocupa una posición singular. El país combina un régimen de zonas francas consolidado, estabilidad democrática, una trayectoria reconocida en educación científica y técnica y casi tres décadas de experiencia directa con Intel, cuya llegada en 1997 marcó un punto de inflexión en la inserción del país en las CGV de alta tecnología (Brenes & Cerdas, 2025). La planta de ensamblaje y prueba de microprocesadores llegó a representar más del 20% de las exportaciones nacionales en su pico y generó un capital humano altamente calificado que hoy alimenta sectores como los dispositivos médicos, los servicios de ingeniería y las tecnologías digitales.

Al mismo tiempo, la experiencia de la salida parcial de Intel en 2014 y su posterior reexpansión durante la pandemia evidenció tanto el potencial del país como su vulnerabilidad ante las decisiones corporativas y los cambios en la política comercial de Estados Unidos. En la coyuntura actual, marcada por nuevas tensiones arancelarias y por iniciativas como la CHIPS and Science Act y la European Chips Act, la discusión ya no es si Costa Rica puede atraer inversión, sino en qué segmentos de la cadena de semiconductores tiene sentido que se especialice y en qué condiciones de gobernanza, energía, infraestructura y talento puede hacerlo de forma sostenible (United States Congress, 2022)., Barría, 2025; Arrieta, 2025).

Este ensayo sostiene que Costa Rica tiene la posibilidad realista de consolidarse como un nodo confiable en el ecosistema global de semiconductores, no en la manufactura masiva de obleas, sino en los eslabones de mayor valor agregado compatibles con su escala y capacidades: ensamblaje, empaque y pruebas (OSAT), servicios de validación de diseño, mantenimiento avanzado de equipos, metrología de precisión y soluciones basadas en inteligencia artificial para manufactura avanzada. Para ello, se propone una hoja de ruta en cuatro fases que articula tres dimensiones clave: (i) fortalecimiento del talento y la infraestructura científico-tecnológica; (ii) profundización de la base productiva en manufactura avanzada y servicios asociados; y (iii) uso estratégico de la diplomacia científica, el régimen de zonas francas y las alianzas con socios como Estados Unidos, la Unión Europea y actores asiáticos.

MARCO TEÓRICO: CADENAS DE VALOR Y NEARSHORING TECNOLÓGICO

El punto de partida para entender el nearshoring es el marco de las cadenas globales de valor (CGV). En este enfoque, la producción se fragmenta internacionalmente y las distintas etapas –desde el diseño hasta el servicio posventa– se localizan donde resulta más eficiente al combinar costos, capacidades tecnológicas y condiciones institucionales (Gereffi, 2018; Gereffi & Fernández-Stark, 2016). Lo central ya no es solo qué se exporta, sino en qué eslabones de la cadena participa

cada país, bajo qué formas de gobernanza y con qué posibilidades de "upgrading" productivo y tecnológico.

La pandemia de COVID-19, las disrupciones logísticas y las tensiones geopolíticas recientes (incluida la rivalidad entre Estados Unidos y China y la guerra en Ucrania) han puesto en evidencia la vulnerabilidad de CGV excesivamente concentradas en algunos nodos de Asia. Informes de la UNCTAD y otros organismos documentan la combinación de cuellos de botella logísticos, mayores distancias de envío y una creciente presión política para reducir las dependencias críticas en sectores como la salud, la energía y las tecnologías digitales (UNCTAD, 2024). En este contexto emergen con fuerza tres estrategias: reshoring (retornar la producción al país de origen), nearshoring (acercarla geográficamente) y friendshoring (relocalizarla hacia países aliados tanto en aspectos políticos como económicos).

Desde la óptica de la política industrial, el nearshoring se interpreta como una reconfiguración regional de las CGV más que como una desglobalización. El Banco Interamericano de Desarrollo estima que el aprovechamiento de oportunidades de nearshoring podría añadir hasta US$78.000 millones anuales a las nuevas exportaciones de bienes y servicios de América Latina y el Caribe en el corto y mediano plazo (BID, 2022). El mensaje es claro: hay una ventana de oportunidad, pero su aprovechamiento depende de la capacidad instalada, la infraestructura, el capital humano y los marcos regulatorios compatibles con inversiones de largo plazo.

El debate se ha sofisticado con la noción de friendshoring: relocalizar segmentos de la cadena de suministro hacia países "de confianza" desde el punto de vista geopolítico y normativo. El Foro Económico Mundial lo define como la concentración de cadenas de suministro en jurisdicciones aliadas, distinguiéndolo de otras estrategias como el offshoring, el reshoring y el nearshoring (Ellerbeck, 2023). A su vez, análisis recientes muestran que, para América Latina y el Caribe, la combinación de proximidad geográfica a Estados Unidos, afinidad horaria y cultural, y disponibilidad de recursos energéticos y talento ofrece una base real para capturar proyectos de nearshoring y friendshoring si se corrigen brechas de infraestructura, logística y clima de negocios (Maloney, 2024; García & López, 2021).

La industria de semiconductores ejemplifica claramente estas tensiones. Está organizada como una cadena global de valor (CGV) muy jerarquizada, con tres bloques funcionales principales: (i) diseño y propiedad intelectual de chips; (ii) fabricación de obleas en "fabs" de gran inversión; y (iii) ensamblaje, empaque y prueba (OSAT), además de servicios de validación y soporte. Estudios del BID revelan cómo esta cadena concentra varias etapas críticas en pocos países, mientras que también permite que las economías intermedias participen en la manufactura avanzada, los servicios de ingeniería y las actividades de soporte tecnológico (Filippo *et al*., 2022; Filippo *et al*., 2024).

En esta perspectiva, la ventaja competitiva no se basa únicamente en salarios bajos, sino también en la densidad de capacidades tecnológicas, la coordinación público-privada y la confiabilidad institucional. El World Economic Forum y el Banco Mundial han destacado que, en la situación actual, tener cercanía geográfica sin capital humano, energía confiable ni marcos regulatorios previsibles no basta para lograr proyectos sostenibles. Lo fundamental es la capacidad de un país para convertirse en socio estratégico en cadenas de producción complejas, en lugar de ser solo un proveedor de mano de obra barata (Maloney, 2024; World Economic Forum, 2024).

Costa Rica encaja en este marco como un caso de inserción selectiva en CGV de alta tecnología. El país ya ha demostrado su capacidad para integrarse en clústeres sofisticados de dispositivos médicos, electrónica de precisión y servicios basados en el conocimiento, aprovechando su régimen de zonas francas, su estabilidad democrática y su capital humano (Filippo *et al*., 2022). La llegada de Intel en 1997 aceleró este proceso: la planta de ensamblaje y prueba de microprocesadores convirtió al país en un nodo relevante dentro de la cadena global de semiconductores y llegó a explicar más del 20% de las exportaciones en su pico (Brenes & Cerdas, 2025).

Desde la perspectiva de CGV, la trayectoria de Intel en Costa Rica ilustra bien las dinámicas de upgrading y la vulnerabilidad de las economías pequeñas frente a las decisiones corporativas y a los cambios en la política comercial. El cierre de la planta de manufactura en 2014 y el mantenimiento de los centros de servicios globales e ingeniería mostraron que la participación del país en la cadena podía pasar de un segmento intensivo en manufactura a uno más centrado en servicios de alto valor, pero también evidenciaron su dependencia de un número reducido de anclas tecnológicas. El

relanzamiento de operaciones de ensamblaje y prueba en 2020 y el nuevo anuncio de traslado hacia Vietnam y Malasia en 2025, asociado a la coyuntura arancelaria en Estados Unidos (Brenes & Cerdas, 2025; Arrieta, 2025), confirman que el entorno geopolítico y las estrategias de friendshoring/nearshoring de los países centrales condicionan directamente las oportunidades de países como Costa Rica.

Bajo este marco teórico, el desafío para Costa Rica no es solo "atraer" o "retener" a una empresa emblemática, sino definir en qué eslabones de la cadena de semiconductores quiere y puede competir, y qué combinaciones de política industrial, talento, infraestructura y diplomacia tecnológica son necesarias para consolidarse como un socio confiable en esquemas de nearshoring y friendshoring.

El análisis de capacidades y brechas que se presenta en las siguientes secciones se apoya precisamente en esta lectura de las CGV como estructuras dinámicas de gobernanza, en la que la posición del país depende tanto de factores internos como de la arquitectura geopolítica del comercio internacional (Gereffi, 2018; UNCTAD, 2024).

CAPACIDADES ESTRUCTURALES DE COSTA RICA

Como se sintetiza en la Tabla 1, los distintos segmentos de la cadena global de semiconductores exigen combinaciones específicas de capital humano, infraestructura, gobernanza y marcos regulatorios. En ese marco, la competitividad de Costa Rica depende menos de la competitividad en costos laborales y más de su capacidad para sostener talento altamente calificado, de un entorno institucional predecible y de un régimen de atracción de inversión extranjera directa (IED) coherente con las estrategias de nearshoring y friendshoring. Las secciones 3.1 y 3.2 analizan dos pilares transversales: (i) el capital humano y la educación STEM, y (ii) la estabilidad institucional y el régimen de zonas francas, que son los cimientos sobre los que descansa cualquier apuesta seria en los eslabones de ensamblaje, de prueba, de validación y de servicios avanzados descritos en la Tabla 1.

Capital humano y educación STEM

Costa Rica ha construido, durante varias décadas, una base de capital humano que la sitúa en el grupo de países latinoamericanos con mayor densidad relativa de personal de I+D para su nivel de ingresos, según datos comparativos de la UNESCO y del Banco Mundial (UNESCO, 2021; UNESCO Institute for Statistics, 2025). Las universidades públicas, el Sistema Nacional de Colegios Científicos de Costa Rica, el CeNAT y los programas técnicos del Instituto Nacional de Aprendizaje (INA) han permitido sostener una oferta continua de profesionales en ingeniería, ciencias y

TABLA 1. SEGMENTOS DE LA CADENA DE SEMICONDUCTORES Y TIPOS DE INSERCIÓN PARA ECONOMÍAS COMO LA DE COSTA RICA

Segmento de la cadena	Actividades típicas	Perfil de países dominantes	Oportunidades para economías como Costa Rica
Diseño y propiedad intelectual (IP)	Arquitectura de chips, diseño lógico, verificación, EDA	EE.UU., Corea, Japón, Unión Europea, Israel	Centros de diseño especializados, nichos *fabless*, colaboración universidad-empresa
Fabricación de obleas (fabs)	Litografía avanzada, deposición, grabado, CMP	Taiwán, Corea, EE.UU., China	Muy limitada: alta inversión y escala; foco en alianzas estratégicas y servicios de soporte
Ensamblaje, empaque y prueba (OSAT)	Encapsulado, pruebas eléctricas y térmicas, "burn-in"	Malasia, China, Singapur, México	Plataformas OSAT orientadas a nichos (automotriz, médicos) con energía limpia
Servicios de validación y testeo	Simulación, caracterización, certificación de calidad	EE.UU., Unión Europea, Asia	Laboratorios acreditados, servicios a *fabs*/OSAT globales, alianzas con BID y empresas
Mantenimiento y soporte de equipos	Instalación y mantenimiento de equipos de precisión	Proveedores globales de equipamiento	*Hubs* regionales de servicio técnico especializado
Analítica e IA para manufactura	Optimización de *yield*, mantenimiento predictivo, gemelos digitales	Firmas globales de software y *fabs* integradas	Startups y centros de I+D que apliquen IA a manufactura y logística avanzada

Fuente: UNESCO, 2021; UNESCO Institute for Statistics, 2025; Santos Pasamontes & Durán-Monge, 2024.

tecnologías de la información, lo que explica en buena medida la atracción de IED en dispositivos médicos, servicios empresariales avanzados y electrónica de precisión.

Sin embargo, los requerimientos de la industria de semiconductores son más específicos. Un análisis reciente del Programa Estado de la Nación sobre talento calificado para la industria de semiconductores concluye que, aunque Costa Rica dispone de una base sólida de ingenieros, aún existe una brecha importante en perfiles especializados en microelectrónica, diseño de circuitos integrados, empaquetado avanzado y metrología de precisión (Santos Pasamontes & Durán-Monge, 2024). La principal restricción no es la ausencia de talento básico, sino la falta de masa crítica en competencias muy específicas y la limitada articulación entre universidades, centros de investigación y empresas ancla del sector.

En este contexto, tiene sentido pensar en una cadena de formación explícitamente alineada con los segmentos de la cadena de semiconductores en los que Costa Rica aspira a participar. Ello implica, por ejemplo, reforzar la formación en áreas como:

- Ingeniería electrónica con énfasis en diseño y prueba de *chips*;
- Operación de salas limpias y procesos de ensamblaje y empaquetado (OSAT);
- Ciencia de datos e inteligencia artificial aplicadas a la manufactura avanzada y al *yield management*.
- Aseguramiento de la calidad y certificaciones internacionales en sectores regulados, como los de los médicos y el automotriz.

En paralelo a la educación formal, se han dado pasos relevantes en el territorio. En 2024, el MICITT, el Instituto de Desarrollo Rural (INDER) y la Promotora Costarricense de Innovación e Investigación lanzaron una alianza para fortalecer los Laboratorios de Innovación Comunitaria (LINC) y los Centros Comunitarios Inteligentes (CECI) en zonas rurales. El programa contempla una inversión de aproximadamente ₡1.098 millones para equipar 12 LINC y fortalecer 44 CECI, con el objetivo de cerrar brechas digitales y ofrecer formación en robótica, ciberseguridad, programación y análisis de *big data* a comunidades fuera del Gran Área Metropolitana (MICITT, 2024; Presidencia de la República, 2024). Esta infraestructura constituye una plataforma estratégica para ampliar la base de talento digital y, en el mediano plazo, crear un *pipeline* de jóvenes que puedan transitar hacia carreras técnicas y universitarias vinculadas con los segmentos de la cadena de semiconductores identificados en la Tabla 1.

El reto, por tanto, no es partir de cero, sino articular y escalar lo que ya existe. La clave está en traducir estas capacidades educativas y de innovación en rutas formativas concretas (programas de *semiconductor engineering*, certificaciones en operación de *cleanrooms*, diplomados en IA aplicada a la manufactura avanzada, etc.) diseñadas en conjunto por universidades, CeNAT, INA y empresas tecnológicas. Solo con esa alineación fina entre la oferta y la demanda de talento, Costa Rica podrá sostener una participación estable en los eslabones de mayor valor agregado –OSAT, validación, servicios avanzados– en lugar de limitarse a ciclos de llegada y salida de grandes inversiones, como ha ocurrido en el pasado.

Estabilidad institucional y régimen de zonas francas

Costa Rica combina una larga tradición democrática, un Estado de derecho relativamente robusto y una política exterior previsiblemente alineada con el multilateralismo, atributos valorados por empresas que operan cadenas de suministro complejas y reguladas. Esta estabilidad institucional ha sido un factor clave para que el país sea percibido como socio confiable en proyectos de alta tecnología y en servicios globales de valor agregado, más allá de los ciclos políticos internos.

En el plano económico, el régimen de zonas francas se ha consolidado como el instrumento central de la estrategia de atracción de IED. De acuerdo con el análisis más reciente de PROCOMER, el régimen de zonas francas aporta alrededor del 15% del PIB, concentra cerca del 74% de la IED del país y generó en 2024 más de 265.000 empleos directos e indirectos, con una participación femenina cercana al 45% (PROCOMER, 2025). El informe "Zona Franca: 35 años construyendo valor para Costa Rica" documenta, además, la creciente diversificación sectorial del régimen hacia actividades intensivas en conocimiento, como dispositivos médicos, electrónica y servicios empresariales avanzados, que son precisamente los ecosistemas en los que se inserta la industria de semiconductores (PROCOMER, 2024).

Este andamiaje institucional no solo ofrece incentivos fiscales, sino también un marco regulatorio relativamente estable y predecible en materia de comercio exterior, normas de origen, reglas de juego para IED y relaciones laborales. Para una empresa que evalúa dónde ubicar actividades de ensamblaje, pruebas, validación o servicios de ingeniería asociados a semiconductores, la combinación de estabilidad política, seguridad jurídica y un régimen probado de zonas francas reduce el riesgo de country shock y facilita la toma de decisiones de inversión a 10-15 años.

A la vez, Costa Rica ha avanzado en la agenda de mejora regulatoria. La Ley Nº 8220, Ley de Protección al Ciudadano del Exceso de Requisitos y Trámites Administrativos, establece la obligación de simplificar trámites, eliminar requisitos innecesarios y transparentar la normativa aplicable a ciudadanos y empresas, asignando al Ministerio de Economía, Industria y Comercio (MEIC) el rol de órgano rector de la política de mejora regulatoria (Asamblea Legislativa de Costa Rica, 2002; MEIC, 2024). Si bien su implementación ha sido desigual, constituye una base legal relevante para seguir reduciendo la fricción regulatoria que enfrentan proyectos de alta tecnología –por ejemplo, en habilitación de infraestructura industrial, permisos ambientales y operación de salas limpias– y para acelerar procesos clave como el despliegue de redes 5G, que son un insumo estratégico para varios de los segmentos descritos en la Tabla 1.

En síntesis, el pilar institucional y el régimen de zonas francas ofrecen a Costa Rica un activo distintivo en la competencia por proyectos de nearshoring y friendshoring en el sector de semiconductores. No obstante, la gobernanza de este régimen debe seguir evolucionando: será necesario ajustar los instrumentos de promoción para priorizar inversiones que refuercen los eslabones donde el país tiene mayores ventajas relativas –OSAT, servicios de validación, analítica e IA para manufactura– y asegurar que las condiciones regulatorias y de infraestructura (incluida la agenda de 5G y energía, desarrollada en las secciones siguientes) estén alineadas con los requerimientos de esos segmentos. Tal como resume la Tabla 1, la estabilidad institucional y el régimen de zonas francas son condiciones necesarias, pero su impacto real dependerá de cómo se combinen con el capital humano especializado, la infraestructura tecnológica y los marcos de cooperación internacional.

Más allá de las condiciones de talento e institucionalidad, Costa Rica cuenta con una infraestructura científico-tecnológica que puede funcionar como columna vertebral del ecosistema de semiconductores. El actor clave en este ámbito es el Centro Nacional de Alta Tecnología (CeNAT, 2025).

Oportunidad para el Centro Nacional de Alta Tecnología (CeNAT)

El Centro Nacional de Alta Tecnología (CeNAT-CONARE) es el principal articulador de la infraestructura científico-tecnológica avanzada del país. Se trata de un órgano de coordinación interuniversitaria del Consejo Nacional de Rectores (CONARE) que integra laboratorios nacionales y programas especializados en áreas como la ciencia e ingeniería de materiales, la biotecnología, la informática, las tecnologías de la información, los procesos de manufactura avanzada, la gestión ambiental y la ciencia y la sociedad (CONARE, 2025). Esta posición le permite operar como una plataforma neutral entre universidades, el Estado y el sector productivo.

El CeNAT agrupa laboratorios nacionales con capacidades directamente relevantes para un ecosistema de semiconductores, entre los que destacan el Laboratorio Nacional de Nanotecnología (LANOTEC), el Colaboratorio Nacional de Computación Avanzada (CNCA), el Centro Nacional de Innovaciones Biotecnológicas (CENIBiot), el Laboratorio Nacional de Bioeconomía y Gestión Ambiental (LANBA), el Laboratorio PRIAS (CeNAT, 2025), entre otros. Recientemente, también se incorporó el Observatorio de Diplomacia Científica (ODIC), que, además de promover la colaboración internacional, respalda la Cátedra CeNAT e impulsa la difusión y divulgación de la ciencia y la tecnología avanzadas (CeNAT, 2025).

LANOTEC, por ejemplo, cuenta con equipamiento de caracterización de materiales tales como el de microscopía electrónica de barrido SEM, microscopia electrónica de transmisión TEM, espectroscopía fotoelectrónica de rayos X conocida como XPS, la microscopia de fuerza atómica AFM, técnicas espectroscópicas (FTIR, MicroRAMAN, UV-vis), mecánicas y térmicas (DSC, TGA, DMTA), goniometría, entre otras, así como capacidades de prototipado y de manufactura avanzada que ya se utilizan para apoyar al sector productivo en proyectos de nanomateriales, recubrimientos y dispositivos de alta precisión.

Desde la perspectiva de la cadena global de semiconductores, resumida en la Tabla 1, estas capacidades pueden convertirse en una ventaja decisiva para los segmentos en los que Costa Rica tiene mayor potencial de inserción: ensamblaje, empaque y prueba (OSAT), servicios de validación y testeo, mantenimiento de equipos de precisión y analítica/IA aplicada a la manufactura. Los laboratorios del CeNAT pueden funcionar como infraestructura compartida para (i) la caracterización avanzada de materiales y componentes, (ii) el desarrollo y la validación de procesos de empaquetado y de prueba, y (iii) el apoyo técnico a empresas OSAT y de manufactura avanzada que se instalen bajo el régimen de zonas francas.

Además, el CeNAT está bien posicionado para liderar la formación y el reclutamiento de talento especializado. Su articulación con las cinco universidades públicas y con programas de posgrado en ingeniería, ciencias físicas, química y computación le permite diseñar, junto con el INA y las empresas tecnológicas, rutas formativas específicas en áreas como la operación de salas limpias, la metrología de dispositivos, la confiabilidad de componentes electrónicos y el diseño de soluciones basadas en inteligencia artificial para la manufactura. La experiencia acumulada en proyectos de nanobiotecnología, sensores avanzados y prototipado rápido puede escalarse a programas de capacitación orientados a los segmentos de la cadena semiconductor que se priorizan en la hoja de ruta.

Finalmente, el CeNAT es un candidato natural para albergar un laboratorio nacional de cadenas de valor tecnológicas –específicamente de semiconductores; su carácter interuniversitario, su capacidad de gestión de proyectos internacionales y su inserción en redes globales de investigación lo convierten en el espacio idóneo para monitorear tendencias tecnológicas, mapear capacidades nacionales, identificar brechas y coordinar iniciativas de diplomacia científica en torno a semiconductores, manufactura avanzada e inteligencia artificial. Aprovechar plenamente este rol implica fortalecer su financiamiento, dotarlo de mandatos claros vinculados a la política nacional de semiconductores y articularlo estrechamente con las agencias de atracción de inversión (COMEX, PROCOMER, CINDE) y con las instancias de política científica y tecnológica (MICITT, CeNAT-CONARE).

BRECHAS Y DESAFÍOS ESTRATÉGICOS

Las secciones anteriores muestran que Costa Rica cuenta con activos relevantes en talento, institucionalidad y régimen de zonas francas. Sin embargo, la posibilidad de consolidarse como nodo de nearshoring en semiconductores depende de enfrentar con realismo un conjunto de brechas estructurales. Estas brechas se ubican principalmente en tres planos: (i) escala industrial e infraestructura especializada, (ii) gobernanza y coordinación interinstitucional y (iii) riesgos geopolíticos y tecnológicos asociados a la energía, 5G y a la dependencia de decisiones externas.

Escala industrial e infraestructura especializada

El primer desafío no es la ausencia de talento ni de confianza país, sino la escala industrial y el nivel de especialización tecnológica requeridos por los eslabones de ensamblaje, empaque y prueba (OSAT) y por los servicios avanzados de validación. A diferencia de sectores como los dispositivos médicos, donde la base local instalada es significativa, Costa Rica todavía no dispone de parques industriales ni de capacidades "*fab-ready*" diseñadas específicamente para semiconductores.

Las operaciones OSAT demandan entornos controlados de alta exigencia (salas limpias típicamente de ISO Clase 5–6, equivalentes a los antiguos estándares Clase 100-1000), equipamiento de precisión para el empaquetado y las pruebas, y sistemas de trazabilidad digital de extremo a extremo para asegurar la calidad y el *yield* en tiempo real (American Cleanroom Systems, 2024; Cintas, 2025; SIA & BCG, 2021). Estas instalaciones tienen costos de capital y de operación elevados, y su viabilidad se justifica únicamente cuando existe un flujo estable de proyectos y una base de proveedores y de talento altamente especializado. Hoy, la infraestructura costarricense de manufactura avanzada se acerca a estos estándares en nichos específicos, pero aún no alcanza la masa crítica necesaria para un clúster OSAT a escala regional.

La experiencia de las economías pequeñas que han logrado posicionarse en el sector de los semiconductores confirma esta lógica. Singapur, por ejemplo, ha construido en décadas un ecosistema integrado que abarca desde el diseño hasta el empaquetado y la prueba, con más de nueve de las quince principales firmas globales

presentes en el país, apoyadas por una infraestructura industrial de primer nivel y una política activa de apoyo a la I+D y al talento (Singapore Economic Development Board [EDB], 2023; Singapore Economic Development Board [EDB], 2024). Malasia, por su parte, contribuye con aproximadamente un 13% del empaquetado y de la prueba global, apoyada en zonas industriales especializadas y en una estrategia nacional explícita para el sector eléctrico y electrónico (Reuters, 2025; MITI, 2023; Government of Malaysia, 2023).

En comparación, Costa Rica aún carece de una estrategia industrial específica para infraestructura semiconductor-ready que integre: parques tecnológicos con especificaciones de sala limpia, logística interna adecuada, disponibilidad garantizada de energía y agua para procesos intensivos y marcos normativos adaptados a los requerimientos ambientales y de seguridad de la industria. La Figura 1, en la sección 5, recoge precisamente esta brecha al plantear la necesidad de un núcleo de manufactura avanzada, respaldado por una base sólida de talento y energía limpia.

Gobernanza y coordinación interinstitucional

Un segundo desafío radica en la gobernanza del ecosistema. La fragmentación de responsabilidades entre ministerios (COMEX, MICITT, MEIC, MINAE), agencias de promoción (PROCOMER, CINDE), entes reguladores (SUTEL, ARESEP), universidades públicas y centros como el CeNAT genera riesgos de solapamientos, vacíos y falta de prioridades claras.

La evidencia internacional sobre nearshoring y relocalización en cadenas complejas muestra que los países que logran capturar valor de forma sostenida tienden a crear agencias o task forces especializados con alto grado de coordinación público-privada. En el sudeste asiático, por ejemplo, la política industrial de Singapur y las estrategias recientes de Malasia en semiconductores combinan unidades estatales con autonomía técnica, paquetes de incentivos orientados a upgrading tecnológico y una gobernanza que integra inversión, talento, regulación e infraestructura bajo una hoja de ruta compartida (Singapore Economic Development Board [EDB], 2024; Government of Malaysia, 2023).

En Costa Rica, las iniciativas vinculadas con semiconductores –hoja de ruta de COMEX, esfuerzos de diplomacia científica, acciones del MICITT, planes de CeNAT y CeNAT-CONARE, programas de talento del PEN y de las universidades– siguen coexistiendo de forma relativamente dispersa y con distintos horizontes temporales. La propuesta de crear un Semiconductor Task Force y, más adelante, un Observatorio Nacional de Cadenas de Valor Tecnológicas en el CeNAT (sección 5) responde precisamente a esta brecha de coordinación: se requiere un espacio con mandato claro para articular decisión de política, atracción de inversión, talento e infraestructura en torno a un conjunto acotado de segmentos prioritarios de la cadena de semiconductores.

En este punto resulta útil introducir la Tabla 2 (no lo desarrollamos aquí porque ya lo definimos en la sección de estrategia): un resumen de las fases de la hoja de ruta y de las acciones clave, donde se cruza cada etapa (diagnóstico, capacidades, desarrollo industrial, diplomacia científica) con los actores responsables y los indicadores de éxito. Esa tabla permite transformar los

TABLA 2. FASES DE LA HOJA DE RUTA PARA EL ECOSISTEMA DE SEMICONDUCTORES EN COSTA RICA.

Fase	Horizonte aproximado	Objetivo central	Acciones clave	Actores líderes principales
1	0-2 años	Definir foco y gobernanza	Crear Semiconductor Task Force; priorizar segmentos; mapa de capacidades y brechas; definir métricas	COMEX, MICITT, CeNAT CONARE, PROCOMER, MRREEC
2	1-5 años	Formar y reconvertir talento especializado	Rutas formativas en semiconductores; uso intensivo de CeNAT y universidades; becas y pasantías internacionales; proyectos de I+D aplicados	CeNAT, universidades, INA, colegios científicos, PEN
3	3-10 años	Desarrollar infraestructura y atraer IED de calidad	Parques semiconductor-ready; paquetes de incentivos alineados con CHIPS/EU Chips; resolver cuellos de energía y 5G	COMEX, PROCOMER, CINDE, ICE, MICITT, MIDEPLAN
4	5-15 años	Consolidar posicionamiento y diplomacia científica	Observatorio de Cadenas de Valor en CeNAT; participación en redes internacionales; narrativa país “trusted partner”	CeNAT CONARE, MRREEC, COMEX, MICITT, BID, CAF

Fuente: elaboración propia, (2025).

desafíos de gobernanza identificados en este apartado en un plan operativo verificable.

Riesgos geopolíticos y tecnológicos: 5G, energía y aranceles

El tercer bloque de desafíos es de naturaleza geopolítica y tecnológica. La estrategia costarricense de nearshoring en semiconductores se ve directamente afectada por decisiones tomadas fuera del país: cambios en la política industrial y arancelaria de Estados Unidos, tensiones tecnológicas con China y la evolución de los estándares de seguridad de la infraestructura digital crítica, como las redes 5G.

En el ámbito energético, Costa Rica ha sido históricamente un referente por su matriz eléctrica mayoritariamente renovable, con niveles de generación limpia cercanos al 99% en 2021-2022. Sin embargo, la combinación de sequías recurrentes y mayores demandas del sistema eléctrico ha reducido ese porcentaje por debajo del 90% en 2024, según datos de ICE y análisis recientes de la prensa especializada (ICE, 2025; Quesada, 2024; Capón, 2025). Esto no invalida la ventaja comparativa verde del país, pero sí subraya que la ampliación de clústeres intensivos en energía –como un eventual clúster de semiconductores e IA– requerirá inversiones significativas en generación y transmisión, así como una revisión honesta de los precios relativos y de la seguridad de suministro.

En el ámbito de la conectividad digital, la implementación de 5G ilustra otro cuello de botella. Costa Rica ha avanzado en licitaciones de espectro y pruebas de redes privadas, pero el proceso se ha visto obstaculizado por decisiones regulatorias que inicialmente excluyeron a proveedores chinos como Huawei, por medidas cautelares posteriores y por una licitación de espectro que apenas se consolida (Tico Times, 2023; DiploFoundation, 2023; SUTEL, 2024; García & Bodán, 2024). Diversos análisis comparativos muestran que Costa Rica es, de facto, el único país de América Latina que ha optado por una exclusión tan amplia de proveedores chinos en redes 5G, lo que la sitúa en una posición singular en la región (Carrelli, 2024).

Esta combinación de retraso relativo en el despliegue de 5G y alineamiento con las preocupaciones de seguridad de Estados Unidos y la Unión Europea tiene implicaciones directas para el ecosistema de semiconductores: por un lado, refuerza la imagen de Costa Rica como socio confiable en términos de ciberseguridad; por otro, puede encarecer e incluso ralentizar la modernización de su infraestructura digital, generando una brecha frente a competidores regionales que avanzan con despliegues más rápidos y con estructuras de costos distintas.

Finalmente, la vulnerabilidad frente a decisiones de política comercial externa quedó evidenciada con el anuncio de nuevos aranceles estadounidenses del 15% sobre ciertas exportaciones costarricenses y con la decisión de Intel de cerrar de nuevo su planta de ensamblaje y prueba en el país, redirigiendo la producción hacia Malasia y Vietnam (Swissinfo, 2025; Infobae, 2025; Reuters, 2025; Murillo, 2025). Estos hechos subrayan una brecha estratégica central: Costa Rica no puede basar su estrategia de semiconductores únicamente en la presencia de una o dos empresas ancla ni en un entorno internacional estable. Requiere construir resiliencia mediante:

- Diversificación de socios y mercados;
- Fortalecimiento de capacidades locales (CeNAT, universidades, ecosistema emprendedor) para generar propiedad intelectual y servicios propios;
- Agenda de diplomacia científica y comercial capaz de anticipar y amortiguar los choques externos.

ESTRATEGIA Y HOJA DE RUTA PARA COSTA RICA

La evidencia revisada sugiere que Costa Rica no tiene sentido compitiendo en la fabricación de obleas a gran escala, pero sí en segmentos de la cadena de semiconductores donde su combinación de talento, estabilidad institucional y energía limpia puede convertirse en una ventaja comparativa: ensamblaje, empaque y prueba (OSAT), servicios de validación y testeo, mantenimiento de equipos de precisión, y soluciones de analítica e inteligencia artificial para manufactura avanzada.

La Hoja de Ruta para el Fortalecimiento del Ecosistema de Semiconductores en Costa Rica, elaborada por COMEX, ya constituye un primer marco interinstitucional, al articular a más de 20 entidades públicas, el sector privado y la academia en torno a una visión país (COMEX, 2024). Sin embargo, para que esta hoja de ruta se traduzca en proyectos concretos y

FIGURA 1. ECOSISTEMA ESTRUCTURADO EN TRES NIVELES INTERDEPENDIENTES



Fuente: elaboración propia, 2025.

resultados medibles, es necesario estructurar un plan por fases, alineado con las tendencias globales de reconfiguración de cadenas de valor y con iniciativas como la CHIPS and Science Act de Estados Unidos y la European Chips Act, que buscan reforzar las cadenas de suministro de semiconductores y apoyarse en países aliados para reducir riesgos geopolíticos (Estevadeordal, 2024).

La Figura 1 resume esta visión: un ecosistema estructurado en tres niveles interdependientes –(i) base de talento y energía limpia, (ii) núcleo de innovación y manufactura avanzada, y (iii) capa de diplomacia tecnológica e inversión extranjera– conectados por flujos de I+D, certificación y cooperación internacional. Sobre esta base se propone una hoja de ruta en cuatro fases que se detalla a continuación.

Fase 1: Diagnóstico fino y priorización estratégica (0-2 años)

La primera fase es eminentemente organizativa y de enfoque. Aunque Costa Rica ya cuenta con un diagnóstico general y una hoja de ruta sectorial, falta aterrizar en un conjunto acotado de segmentos prioritarios, proyectos ancla y métricas de seguimiento.

En esta fase se propone la creación de una Semiconductor Task Force de alto nivel, liderada por COMEX y MICITT, e integrada por CeNAT-CONARE, PROCOMER, el Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto (MRREEC), el INA, representantes de las universidades públicas y del sector privado. Su mandato debería concentrarse en tres tareas:

- Definir los segmentos objetivo (OSAT, validación y testeo, mantenimiento de equipos, servicios de analítica e IA para manufactura) y los requisitos específicos de infraestructura, talento, regulación y financiamiento asociados a cada uno, utilizando como referencia la hoja de ruta de COMEX y los análisis comparados de BID, UNCTAD y CSIS sobre oportunidades de nearshoring en la región (Filippo *et al.*, 2022; COMEX, 2024; UNCTAD, 2024).
- Mapear capacidades y brechas: inventario de laboratorios y capacidades técnicas (CeNAT, universidades, empresas), infraestructura industrial y logística, talento disponible y en formación, marcos regulatorios críticos (trámites, ambiente, 5G, energía).
- Establecer métricas e hitos de corto plazo (2-3 años) alineados con la hoja de ruta nacional y con las oportunidades de cooperación derivadas de la CHIPS and Science Act y de las políticas de alianzas en semiconductores de Estados Unidos y de la Unión Europea (Estevadeordal, 2024).

Esta fase debe cerrar con un documento de priorización estratégica que deje claro qué segmentos se priorizan, qué tipo de proyectos se buscará atraer o desarrollar y con qué calendario tentativo, evitando la dispersión de

esfuerzos que ha limitado el impacto de otras agendas de especialización productiva en la región.

Fase 2: Talento, capacidades tecnológicas y transferencia (1-5 años)

El cuello de botella más crítico identificado en la literatura y en los diagnósticos nacionales no es la ausencia de educación superior, sino la insuficiente masa crítica de perfiles muy especializados en microelectrónica, empaquetado, metrología avanzada y operación de salas limpias (Santos Pasamontes & Durán-Monge, 2024). La segunda fase de la hoja de ruta debe centrarse en cerrar esta brecha mediante un programa agresivo de formación y recalificación.

En este punto, Costa Rica puede aprovechar tres palancas:

- Alianzas entre CeNAT, universidades públicas, INA y colegios científicos para diseñar rutas formativas específicas en ingeniería de semiconductores, operación de *cleanrooms*, confiabilidad de componentes electrónicos y analítica e IA aplicadas a la manufactura avanzada, utilizando la infraestructura de laboratorios de CeNAT (LANOTEC, CNCA, etc.) como plataforma práctica.
- Programas de formación dual y pasantías internacionales con centros de excelencia y empresas globales de la industria (por ejemplo, a través de acuerdos bilaterales, convenios con IMEC o TSMC, o esquemas de cooperación apoyados por el ITSI Fund de la CHIPS and Science Act, que ya ha incluido a Costa Rica entre los países socios beneficiarios de proyectos de fortalecimiento de ecosistemas tecnológicos)
- Uso estratégico de instrumentos de cooperación regional y multilaterales, incluyendo programas de CAF y BID sobre nearshoring y reconfiguración de cadenas de valor en América Latina, para financiar becas, estancias y proyectos de I+D orientados específicamente a semiconductores y manufactura avanzada (Estevadeordal, 2024; Filippo *et al.*, 2022).

Esta fase debería concretarse en objetivos medibles: número de graduados en programas específicos de semiconductores, número de personal certificado en la operación de salas limpias, número de investigadores vinculados a proyectos de I+D en empaquetado y testeo, y número de técnicos formados en el mantenimiento de equipos de precisión.

Fase 3: Desarrollo industrial y atracción de IED de calidad (3-10 años)

Una vez claros los segmentos objetivo y en marcha los programas de talento, la tercera fase se centra en desarrollar infraestructura industrial especializada y atraer inversión extranjera directa (IED) alineada con esos segmentos, no cualquier IED.

La priorización aquí es doble:

- Parques tecnológicos semiconductor-ready: desarrollo de uno o dos parques industriales con especificaciones claras para actividades OSAT y servicios de validación: módulos con salas limpias escalables, acceso garantizado a energía de alta calidad (con contratos renovables de largo plazo), gestión de agua ultra pura y sistemas de tratamiento de efluentes, logística interna eficiente y conectividad de datos de alta capacidad. La experiencia de países como Singapur y Malasia muestra que este tipo de infraestructura, combinada con paquetes de incentivos bien diseñados, ha sido clave para captar y retener inversiones en empaquetado y prueba, e incluso en servicios de diseño y backend (Goverment of Malaysia, 2023).
- Atracción de IED ancla vinculada a marcos globales: enfocar la promoción en empresas que puedan beneficiarse de las cadenas de incentivos del CHIPS and Science Act y de la European Chips Act, que disponen de recursos para fortalecer la resiliencia de las cadenas de suministro mediante la colaboración con países aliados. Estados Unidos ha destinado US$52,7 mil millones en subsidios y créditos para la manufactura y US$13 mil millones para I+D y formación de talento en semiconductores, incluyendo un fondo específico de seguridad tecnológica internacional que ya ha anunciado su cooperación con Costa Rica, Panamá y otros países (U.S. Department of State, 2024; Semiconductor Industry Association, 2024).

En paralelo, esta fase debe integrar explícitamente los cuellos de botella energéticos y digitales señaladas

en la sección 4.3: diseñar esquemas de suministro eléctrico competitivos para proyectos intensivos en energía y acelerar la implementación de redes 5G industriales bajo criterios de seguridad y competitividad. Si estos temas no se abordan en esta fase, el riesgo es atraer proyectos que luego no puedan escalar debido a restricciones de infraestructura.

Fase 4: Consolidación, diplomacia científica y posicionamiento internacional (5-15 años)

La cuarta fase se orienta a consolidar a Costa Rica como nodo confiable y visible en la red global de semiconductores y de manufactura avanzada. Aquí, el foco ya no es solo atraer proyectos, sino anclar al país en redes de conocimiento, de gobernanza y de diplomacia tecnológica.

Un elemento central es la creación de un Observatorio Nacional de Cadenas de Valor Tecnológicas alojado en el CeNAT-CONARE, con mandato para: (i) monitorear tendencias tecnológicas y de mercado en semiconductores, IA y manufactura avanzada; (ii) mapear capacidades nacionales y proyectos en curso; y (iii) generar insumos para la política pública y la diplomacia científica. Esta función se conecta de forma natural con la Red de Diplomacia Científica para América Latina y el Caribe (DiploCientífica) y con la experiencia acumulada por el propio CeNAT y el Observatorio Nacional de Diplomacia Científica en Costa Rica (DiploCientífica, 2024; CeNAT, 2025).

En paralelo, se debe consolidar una estrategia de diplomacia científica y tecnológica que articule la política exterior con la agenda industrial y de innovación: participación activa en foros sobre cadenas de suministro, alianzas con la Unión Europea, Estados Unidos y Asia en temas de estándares, ciberseguridad y sostenibilidad en semiconductores, y uso inteligente de plataformas regionales como la CAF y el BID, que ya han colocado a las cadenas de valor y al nearshoring como ejes de sus informes estratégicos (Estevadeordal, 2024; Filippo *et al.*, 2024; UNCTAD, 2024).

Finalmente, es clave construir y comunicar una narrativa país creíble: Costa Rica como "*trusted semiconductor partner*", no solo por su estabilidad política y su matriz eléctrica renovable, sino también por su capacidad para ofrecer talento especializado, infraestructura adecuada, gobernanza transparente y compromiso con la sostenibilidad. Esa narrativa debe apoyarse en resultados concretos (proyectos OSAT, laboratorios acreditados, startups de IA industrial) y no en eslóganes.

En conjunto, las fases descritas conforman una hoja de ruta escalonada que abarca desde el diagnóstico fino hasta la diplomacia científica y el posicionamiento internacional. La Tabla 2 presenta esta hoja de ruta en formato sintético, cruzando cada fase con su horizonte temporal, su objetivo central, sus acciones clave y sus actores líderes, de manera que pueda utilizarse como insumo operativo para la planificación interinstitucional.

DISCUSIÓN CRÍTICA

El análisis precedente muestra que el "nearshoring" de semiconductores no es una bala de plata ni una simple extensión de la política de zonas francas, sino un proyecto-país de alta complejidad. La evidencia empírica reciente obliga a bajar la espuma: UNCTAD documenta que en 2024 las tendencias de nearshoring y friendshoring se revirtieron y que, en lugar de concentrar las cadenas en "socios cercanos", las empresas volvieron a diversificar sus proveedores en múltiples regiones para reducir el riesgo (UNCTAD, 2024). Al mismo tiempo, la CEPAL muestra que la IED en América Latina y el Caribe aumentó 7,1% en 2024 (US$188.962 millones), pero con flujos "nuevos" estancados y niveles todavía por debajo de los de la década de 2010, lo que refleja un interés limitado por atraer inversiones frescas a la región. Maloney subraya que, pese al discurso de friendshoring impulsado desde Washington, la región ha sido lenta en diseñar estrategias activas para capturar IED y convertirla en un salto de productividad, más allá del empleo y de los impuestos. En este contexto, la apuesta de Costa Rica por los semiconductores debe leerse como una ventana de oportunidad acotada en el tiempo, no como una tendencia garantizada.

En el ámbito de los semiconductores, además, la estructura tecnológica de la cadena global acota fuertemente lo que un país pequeño puede hacer en el frente de fabricación. El nuevo mapeo de la OCDE muestra que cerca del 90% de la capacidad mundial de *fabricación de wafer se concentra en cinco economías (China, Taipéi Chino, Corea, Japón y Estados Unidos) y que la sustitución entre fábricas es muy limitada: un*

fab optimizado para chips analógicos o de potencia no puede reconvertirse fácilmente para chips lógicos avanzados o de memoria (OECD, 2025). Paralelamente, el informe de CSIS sobre el papel de América Latina en la "desriesgación" de la cadena de semiconductores enfatiza que la oportunidad regional radica, sobre todo, en los segmentos de chips "legados" (*legacy chips*), en el ensamblaje, prueba y empaquetado (ATP) y en el suministro de minerales críticos, mientras la administración Trump evalúa nuevos aranceles sectoriales sobre semiconductores. Esto implica que, para Costa Rica, aspirar a *un front-end de nodos avanzados en el corto plazo es poco realista; la estrategia sensata es profundizar en ATP, diseño especializado, servicios de validación, pruebas de confiabilidad y soluciones integradas para electromovilidad, salud digital y manufactura avanzada, donde los costos de entrada son menores y el país ya cuenta con* capacidades instaladas.

Desde la perspectiva empresarial, los criterios que utilizan las compañías para decidir dónde invertir refuerzan esta lectura. El informe conjunto SIA-BCG identifica cinco factores críticos en las decisiones de localización: (i) costos de inversión y operación, (ii) talento y fuerza laboral, (iii) infraestructura física y de servicios (energía, agua, logística), (iv) entorno regulatorio y de propiedad intelectual, y (v) existencia de ecosistemas integrados y clústeres tecnológicos (Semiconductor Industry Association & Boston Consulting Group [SIA & BCG], 2024). Además, concluye que los incentivos fiscales, por sí solos, son insuficientes si no se acompañan de una estrategia de largo plazo, holística y específica para el sector. La hoja de ruta propuesta en la Tabla 2 –con fases de arranque, consolidación, escalamiento regional y diplomacia científica– va en la dirección correcta, pero su implementación exige traducir cada fase en compromisos operativos medibles: metas anuales de ingenieros y técnicos formados, inversiones concretas en capacidad eléctrica y gestión hídrica para sitios de alta demanda, estándares de tiempos de permisos y una gobernanza regulatoria que reduzca la fricción transaccional para proyectos de alta tecnología.

La Figura 1, que ubica a Costa Rica en eslabones específicos de la cadena global, debe usarse más como instrumento de priorización ("en qué dos o tres nodos queremos ser indispensables") que como mero diagrama ilustrativo.

Un segundo ángulo crítico es la gobernanza tecnocientífica. La discusión internacional sobre seguridad económica y cadenas críticas –incluida la agenda de "economic security" de la OCDE aplicada al caso de los semiconductores– coincide en que las políticas de chips ya no son políticas sectoriales aisladas, sino paquetes integrados que combinan I+D, talento, comercio, control de exportaciones y diplomacia tecnológica. En Costa Rica, el país cuenta con una base institucional razonable (COMEX, PROCOMER, MICITT, CeNAT, CINDE, academia), pero fragmentada y con mandatos parcialmente superpuestos. Si la política de semiconductores se mantiene como una suma de iniciativas –zona franca, acuerdos bilaterales, proyectos puntuales de formación–, el resultado será una captura parcial de IED sin cambios estructurales. El CeNAT, en particular, solo tendrá impacto estratégico si deja de ser visto como "proveedor de servicios analíticos" y pasa a operar como orquestador de un ecosistema de I+D aplicada, prototipado, datos y talento especializado que alimente el *pipeline* de empresas ancla y proveedoras.

Finalmente, la evidencia regional recuerda que la IED, en sí misma, no corrige las brechas estructurales. La CEPAL insiste en que, para que la IED contribuya a superar la "triple trampa" de bajo crecimiento, alta desigualdad y débiles capacidades institucionales, debe integrarse explícitamente en las políticas de desarrollo productivo, con condiciones sobre los encadenamientos, la innovación y la sostenibilidad. Maloney enfatiza que el verdadero "test" del *nearshoring* será si los países logran usarlo como palanca de aprendizaje y de sofisticación productiva, y no solo como fuente de empleo relativamente calificado. Para Costa Rica, esto implica tomar en serio la agenda de equidad territorial y sostenibilidad: distribuir parte del nuevo empleo y de la infraestructura hacia regiones fuera del Valle Central, alinear los proyectos de semiconductores con compromisos climáticos y de gestión del agua, y evitar que el clúster reproduzca la lógica de un enclave desconectado del resto de la economía. La discusión crítica de este documento apunta precisamente a eso: a reconocer que el país tiene una ventana real para convertirse en nodo latinoamericano en segmentos específicos de la cadena de semiconductores, pero que dicha ventana solo se materializará si el "proyecto semiconductores" se gobierna como política de Estado, anclada en

capacidades propias y no solo en la coyuntura geopolítica de Estados Unidos.

CONCLUSIONES

El análisis desarrollado muestra que el nearshoring de semiconductores abre una oportunidad real, pero acotada, para que Costa Rica escale en la economía del conocimiento. La combinación de talento relativamente sofisticado, matriz eléctrica mayoritariamente renovable, estabilidad institucional y un régimen de zonas francas probado constituye un punto de partida que pocos países de la región pueden exhibir. Al mismo tiempo, la estructura tecnológica y geopolítica de la cadena global de semiconductores limita el espacio de maniobra: no es realista competir en la fabricación de obleas en nodos avanzados, pero sí consolidar una inserción en ensamblaje, empaque y prueba, servicios de validación y confiabilidad, mantenimiento de equipos de precisión y soluciones de analítica e inteligencia artificial para manufactura avanzada.

En segundo lugar, el trabajo confirma que la principal restricción del país no es la ausencia de educación superior ni de instituciones básicas, sino la falta de una masa crítica de perfiles altamente especializados y de infraestructura "semiconductor-ready" a escala. El capital humano existente –universidades públicas, Sistema de Colegios Científicos, INA, CeNAT y programas territoriales como LINC y CECI– proporciona una base valiosa, pero aún insuficiente para sostener un clúster de ensamblaje y prueba y de servicios avanzados sin un esfuerzo deliberado de formación, recualificación y atracción de talento en microelectrónica, empaquetado, metrología avanzada, operación de salas limpias y analítica aplicada a manufactura. Sin ese salto cualitativo y cuantitativo en el talento, la ventana de oportunidad se reducirá a proyectos puntuales.

En tercer lugar, la experiencia internacional y el propio caso costarricense muestran que la gobernanza es tan determinante como los recursos. La captura sostenida de valor en semiconductores exige instancias con un mandato claro, capacidades técnicas sólidas y una coordinación estrecha entre la atracción de inversión, el talento, la infraestructura, la regulación y la diplomacia. En el caso de Costa Rica, la hoja de ruta sectorial existente y el ecosistema institucional actual constituyen un buen punto de partida, pero siguen fragmentados. De ahí la necesidad de avanzar hacia un *Semiconductor Task Force* con poder real de coordinación y, posteriormente, hacia un Observatorio Nacional de Cadenas de Valor Tecnológicas alojado en el CeNAT, que articule información, prospectiva y decisiones de política en torno a un conjunto acotado de segmentos prioritarios.

Cuarto, la discusión evidencia que la estrategia de semiconductores no puede depender de una sola empresa ancla ni de un entorno geopolítico predecible. La trayectoria de Intel en el país, las decisiones arancelarias recientes de Estados Unidos y la posición singular de Costa Rica en materia de 5G ilustran la vulnerabilidad frente a choques externos. La respuesta estratégica no puede ser la queja, sino el refuerzo de la competitividad interna: acelerar la mejora regulatoria, revisar de forma realista la capacidad y el costo de la matriz energética para proyectos intensivos en electricidad, completar el despliegue de 5G con criterios de seguridad y eficiencia, reducir tiempos y riesgos en permisos e infraestructura, y construir un entorno que haga sentido económico a proyectos de largo plazo aun en escenarios internacionales adversos.

Por último, el valor estratégico del nearshoring de semiconductores para Costa Rica no debe medirse solo en empleo e inversión extranjera directa, sino también como palanca para un cambio estructural hacia una economía más intensiva en conocimiento, innovación y sostenibilidad. Esto implica vincular explícitamente la agenda de semiconductores con el desarrollo territorial, los compromisos climáticos y la política de ciencia, tecnología e innovación, de manera que los beneficios no queden confinados al Valle Central ni se limiten a actividades de ensamblaje de bajo contenido tecnológico. Costa Rica dispone de activos únicos para convertirse en un "socio confiable" en determinados eslabones de la cadena global de semiconductores; el reto es traducir esos activos en una estrategia país coherente, sostenida y adaptable, donde la ciencia, la tecnología y el desarrollo humano funcionen como columna vertebral de su inserción en la nueva geografía tecnológica global.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Cleanroom Systems. (2024). *Cleanroom classifications & ISO standards*. https://www.americancleanrooms.com/cleanroom-classifications/

Arrieta, E. (2025, 16 de septiembre). *Millonaria inversión de semiconductores en Costa Rica queda en pausa por políticas proteccionistas de Donald Trump. La República*.

Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. (2002). *Ley N.º 8220: Ley de protección al ciudadano del exceso de requisitos y trámites administrativos*. *La Gaceta* (N.º 49, Alcance 22, 11 de marzo de 2002).

Banco Interamericano de Desarrollo. (2022, 7 de junio). *Nearshoring agregaría US$78.000 millones en exportaciones de América Latina y Caribe* [Comunicado de prensa]. https://www.iadb.org/es/noticias/nearshoring-agregaria-us78000-millones-en-exportaciones-de-america-latina-y-caribe

Banco Interamericano de Desarrollo. (2023). *Nearshoring: Oportunidades para América Latina y el Caribe*. BID.

Barría, C. (2025, 2 de abril). *¿Qué son los aranceles y por qué los está usando Trump? BBC News Mundo*. https://www.bbc.com/mundo/articles/cd9ln7p5kxxo

Brenes, M., & Cerdas, M. (2025, 24 de julio). *Intel Costa Rica: Momentos clave del origen, auge y cierres en la planta de Belén*. *La Nación*. https://www.nacion.com/economia/intel-costa-rica-momentos-clave-del-origen-auge-y/YNHQ53GTJZCZTN6QQG3CJDHXUE/story/

Capón Brenes, S. (2025, 6 de febrero). *Generación eléctrica renovable cayó en 2024 por debajo del 90% por primera vez en 10 años*. *Delfino.cr*. https://delfino.cr/2025/02/generacion-electrica-renovable-cayo-en-2024-por-debajo-del-90-por-primera-vez-en-10-anos

Carrelli, T. (2024, 16 de mayo). *Las subastas de 5G en Latinoamérica no vetan a Huawei como pedía Washington*. *Global Affairs, Universidad de Navarra*.

Centro Nacional de Alta Tecnología (CeNAT). (2025). *Sitio web institucional*. https://www.cenat.ac.cr/

Centro Nacional de Alta Tecnología (CeNAT)-LANOTEC. (2025). *Laboratorio Nacional de Nanotecnología (LANOTEC)*. https://lanotec.cenat.ac.cr/

Cintas. (2025, 17 de septiembre). *Understanding the different cleanroom classifications and their gowning needs*. https://www.cintas.com/newsroom/details/news/2025/09/17/understanding-the-different-cleanroom-classifications-and-their-gowning-needs

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2025). *Foreign direct investment in Latin America and the Caribbean, 2025* (LC/PUB.2025/7-P/Rev.1). Naciones Unidas.

CONARE. (2025). *Centro Nacional de Alta Tecnología (CeNAT)*. Consejo Nacional de Rectores. https://www.conare.ac.cr/organizacion/programas/cenat/

DiploCientífica. (2024). *Red de Diplomacia Científica en América Latina y el Caribe*. https://diplomaciacientifica.org

DiploFoundation. (2023, 11 de septiembre). *Costa Rica's 5G network contract to exclude China due to cybersecurity regulations*. Digital Watch Observatory. https://dig.watch/updates/costa-ricas-5g-network-contract-to-exclude-china-due-to-cybersecurity-regulations

Ellerbeck, S. (2023, 17 de febrero). *What is the difference between "friendshoring" and other global trade buzzwords? World Economic Forum*. https://www.weforum.org/agenda/2023/02/friendshoring-global-trade-buzzwords

Estevadeordal, A. (2024). *Latin America in the new geometry of global supply chains*. Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe (CAF).

European Union. (2023). *Regulation (EU) 2023/1781 of the European Parliament and of the Council of 13 September 2023 establishing a framework of measures for strengthening Europe's semiconductor ecosystem (European Chips Act). Official Journal of the European Union, L* 229.

Filippo, A., Guaipatín, C., Navarro, L., & Wyss, F. (2022). *Cadena de valor de semiconductores: Estructura y perspectivas de cara al nuevo escenario global*. Banco Interamericano de Desarrollo.

Filippo, A., Guaipatín, C., Navarro, L., Solís, G., & Wyss, F. (2024). *Semiconductores en Panamá: Claves para el desarrollo del ecosistema de la cadena global de valor de semiconductores en el país*. Banco Interamericano de Desarrollo. https://publications.iadb.org/es/publications/spanish/viewer/Semiconductores-en-Panama-claves-para-el-desarrollo-del-ecosistema-de-la-cadena-global-de-valor-de-semiconductores-en-el-pais.pdf

García & Bodán. (2024, 6 de noviembre). *Costa Rica's telecommunications authority resumes 5G spectrum auction*. García & Bodán.

García, P. M., & López, A. (2021, 5 de febrero). *Foreign direct investment in Latin America and the new global outlook. Beyond Borders - Integration & Trade, Inter-American Development Bank Blog.* https://blogs.iadb.org/integration-trade/en/foreign-direct-investment-in-latin-america-and-the-new-global-outlook/

Gereffi, G. (2018). *Global value chains and development: Redefining the contours of 21st century capitalism*. Cambridge University Press.

Gereffi, G., & Fernández-Stark, K. (2016). *Global value chain analysis: A primer* (2nd ed.). Center on Globalization, Governance & Competitiveness, Duke University.

Government of Malaysia. (2023). *New Industrial Master Plan 2030 (NIMP 2030): Electrical and electronics industry.* https://www.nimp2030.gov.my

Infobae. (2025, 2 de agosto). *Costa Rica pidió a EE. UU. una "pausa" en el arancel del 15% mientras crece la inquietud del sector exportador. Infobae América*.

Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). (2025). *Informe anual de sostenibilidad energética*. ICE.

Maloney, W. (2024, 19 de febrero). *How Latin America and the Caribbean can benefit from foreign direct investment and reshoring. World Economic Forum*. https://www.weforum.org/stories/2024/02/latin-america-and-the-caribbean-reshoring/

Ministerio de Ciencia, Innovación, Tecnología y Telecomunicaciones. (2024). *CECI y Laboratorios de Innovación Comunitaria (LINC)*. MICITT. https://www.micitt.go.cr

Ministerio de Comercio Exterior de Costa Rica (COMEX). (2024). *Hoja de ruta para el fortalecimiento del ecosistema de semiconductores en Costa Rica* [Informe]. COMEX.

Ministerio de Economía, Industria y Comercio (MEIC). (2024). *Ley N.º 8220, "Ley de Protección al Ciudadano del Exceso de Requisitos y Trámites Administrativos", y sus reformas* [Ficha de normativa]. https://www.meic.go.cr

Ministry of Investment, Trade and Industry (MITI). (2023). *Electrical and electronics industry*. Government of Malaysia. https://www.miti.gov.my/NIA/electrical-electronics.html

Murillo, Á. (2025, 2 de agosto). *La oposición de Trump a la "Ley Chips" golpea al sueño de Costa Rica de ser centro regional de esa tecnología. El País América*.

OECD. (2025). *The chip landscape: Geographical distribution of wafer fabrication capacity* (OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, No. 188). OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/02dbd028-en

Presidencia de la República de Costa Rica. (2024, 20 de junio). *MICITT, INDER y Promotora de Innovación unen esfuerzos para impulsar el desarrollo territorial con tecnología* [Comunicado]. https://www.presidencia.go.cr

PROCOMER. (2024). *Zonas francas y atracción de inversión tecnológica en Costa Rica* [Informe]. PROCOMER.

Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica (PROCOMER). (2024). *Zona Franca: 35 años construyendo valor para Costa Rica: Datos y análisis 2020-2024*. PROCOMER.

Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica (PROCOMER). (2025, 21 de agosto). *PROCOMER presenta análisis del impacto del Régimen de Zonas Francas en la economía y sociedad costarricense* [Nota de prensa]. https://procomer.com

Quesada Webb, A. (2024, 19 de enero). *El milagro verde de Costa Rica, ante el desafío de la sequía y la tentación de los combustibles fósiles. El País - Proyecto Tendencias*.

Reuters. (2025, 21 de mayo). *Malaysia to offer incentives for its chipmaking industry, state media reports*. Reuters.

Reuters. (2025, 24 de julio). *Intel cerrará planta en Costa Rica en próximos meses*. Reuters Latam.

Santos Pasamontes, M., & Durán-Monge, E. (2024, 28 de mayo). *Talento calificado para aprovechar las oportunidades de fortalecer la industria de semiconductores en Costa Rica*. Programa Estado de la Nación. https://estadonacion.or.cr/talento-calificado-para-aprovechar-las-oportunidades-de-fortalecer-la-industria-de-semiconductores-en-costa-rica/

Semiconductor Industry Association. (2024). *CHIPS for America: Semiconductor supply chain investments* [Informe]. Semiconductor Industry Association.

Semiconductor Industry Association, & Boston Consulting Group. (2021). *Strengthening the global semiconductor supply chain in an uncertain era* [Informe]. Semiconductor Industry Association.

Semiconductor Industry Association, & Boston Consulting Group. (2024). *Attracting chips investment: Industry recommendations for policymakers* [Informe]. Semiconductor Industry Association.

Singapore Economic Development Board (EDB). (2023). *Semiconductor: Innovating the future from Singapore.* https://www.edb.gov.sg/en/our-industries/semiconductor.html

Singapore Economic Development Board (EDB). (2024, 20 de agosto). *What makes Singapore a prime location for semiconductor companies driving innovation?* https://www.edb.gov.sg/en/business-insights/insights/what-makes-singapore-a-prime-location-for-semiconductor-companies-driving-innovation.html

Superintendencia de Telecomunicaciones (SUTEL). (2024). *Concurso espectro 5G.* https://sutel.go.cr/pagina/concurso-espectro-5g

Swissinfo. (2025, 1 de agosto). *Costa Rica recibe con sorpresa la nueva tasa arancelaria del 15% anunciada por EE. UU. SWI swissinfo.ch*.

The Tico Times. (2023, 8 de septiembre). *Costa Rica excludes China from 5G tech bidders*. https://ticotimes.net

U.S. Department of State. (2024, 8 de julio). *International Technology Security and Innovation (ITSI) Fund: Partnerships with Costa Rica, Panama, Vietnam, Indonesia, the Philippines, and Mexico.* U.S. Department of State.

UNCTAD. (2024). *Trade and Development Report 2024: Rethinking development in an age of discontent*. United Nations.

UNCTAD. (2025, 14 de Marzo). *Global trade in 2025: Resilience under pressure*. UN Trade and Development.

UNESCO. (2021). *UNESCO science report: The race against time for smarter development*. UNESCO Publishing.

UNESCO Institute for Statistics. (2025). *Number of R&D researchers per million people* [Conjunto de datos]. (Datos procesados por Our World in Data).

United States Congress. (2022). *CHIPS and Science Act of 2022* (Public Law 117-167). https://www.congress.gov/117/plaws/publ167

World Economic Forum. (2023). *¿Qué es offshoring, nearshoring y reshoring - y cómo se beneficia un estado en México?* https://es.weforum.org/stories/2023/01/explicado-que-es-offshoring-nearshoring-y-reshoring-y-como-se-beneficia-un-estado-en-mexico/