

**Centro de Manufactura Avanzada:
Estudio para un proyecto piloto en
ensamble y prueba de semiconductores
(OSAT).**

Contenido

1.- Resumen ejecutivo	9
2.- Contexto nacional e internacional del sector de semiconductores	12
2.1 Panorama internacional de la industria de semiconductores: Un Análisis para naciones emergentes.....	12
2.1.1 Crecimiento impulsado por la IA y las megatendencias	12
2.1.2 Cadenas de suministro fragmentadas y tensiones geopolíticas	12
2.1.3 El papel de las naciones emergentes en la industria de los semiconductores	13
2.1.3.1 India: Apuesta por la autosuficiencia en semiconductores	14
2.1.3.2 Vietnam: Zonas económicas especiales y enfoque educativo técnico	16
2.1.3.3 Malasia: Especialización estratégica evolutiva	20
2.1.3.4 Tailandia potencia emergente en la industria de semiconductores.....	23
2.1.3.5 Costa Rica: Hacia un hub estratégico de semiconductores en América Latina	27
2.1.3.6 México en el horizonte de los semiconductores: Hacia una nueva era tecnológica	32
2.1.3.6.1 El Plan México y su impacto en la industria de los semiconductores.....	34
2.1.3.6.2 Planes del desarrollo orientados a la industria de semiconductores.....	36
2.1.3.6.2.1 Polo del desarrollo San Jerónimo, Juárez, Chihuahua	36
2.1.3.6.2.2 Plan estatal de semiconductores de Baja California.....	37
2.1.3.6.2.3 Jalisco “Tech Hub Act”	38
3.- Diagnóstico y capacidades actuales	40
3.2 Chihuahua y sus capacidades existentes	42
3.2.1 Evaluación de actores educativos y de investigación clave	46
4.- Marco conceptual y tecnológico en ensamble, prueba y empaque (ATP)	51
4.1 Ensamble, prueba y empaque de semiconductores.....	51
4.1.1 Proceso de ensamble de semiconductores	51
4.1.1.1 Corte de la oblea (“Dicing”)	51
4.1.1.2 Unión del chip al sustrato (“Die attach”)	52
4.1.1.3 Proceso de conexión eléctrica (“Wire Bonding o Flip Chip”).....	52

4.1.1.4 Encapsulado (“Mold compound”)	52
4.1.1.5 Individualización (singulation)	53
4.1.2 Pruebas de semiconductores (“Testing”)	53
4.1.2.1 Pruebas eléctricas (“E-Test o Wafer Sort”)	54
4.1.2.2 Pruebas funcionales (“Final Test”)	54
4.1.2.3 Pruebas ambientales (“Burn-in y Stress Test”)	54
4.1.2.4 Empaque de semiconductores	55
5.- Centro de entrenamiento en manufactura avanzada para ATP/OSAT	57
5.1 OSAT en Chihuahua	57
5.1.1 Objetivo General: Visión y alcance	57
5.1.2 Objetivos específicos detallados	58
5.1.2.1 Formación de capital humano especializado y certificado	58
5.1.2.2 Aceleración de la productividad y reducción de la curva de aprendizaje	58
5.1.2.3 Fomento de la mejora continua y la innovación (“Upskilling y Reskilling”) ..	59
5.1.2.4 Servir como imán para la atracción y retención de inversión extranjera directa	59
5.1.2.5 Crear un ecosistema colaborativo industria-academia-gobierno:	59
5.2 Distribución arquitectónica del centro	60
5.2.1 Descripción Detallada por Zona.....	62
5.2.1.1 Zona pública y de difusión (Acceso principal)	62
5.2.1.2 Zona de capacitación teórica (Ala académica)	62
5.2.1.3 Zona de Entrenamiento Práctico	62
5.2.1.4 Zona de administración y servicios	64
5.3.- Evaluación de costo e inversiones	65
5.3.1 Zona de capacitación teórica y digital (Aulas y laboratorio de cómputo)	65
5.3.2 Zona de entrenamiento práctico	65
5.3.3 Equipamiento de sala limpia ISO 7	66
5.3.4 Equipamiento general y auxiliar	67
5.4 Fases de desarrollo del centro	68
5.4.1 Fundación y programa piloto (Año 1-2)	68

5.4.1.1 Estrategia y enfoque:	68
5.4.1.1.1 Desarrollo de cursos:	68
5.4.1.1.2 Adquisición de equipo:	69
5.4.2 Crecimiento intermedio y procesos clave (Año 3-5).....	69
5.4.2.1 Estrategia y enfoque:	69
5.4.2.1.1 Desarrollo de cursos:	70
5.4.2.1.2 Adquisición de equipo:	70
5.4.3 Maduración y centro de excelencia (Año 5+).....	71
5.4.3.1 Estrategia y enfoque:	71
5.4.3.1.1 Desarrollo de cursos:	71
5.4.3.1.2 Adquisición de equipo:	72
6.0 Modelo integral de formación y entrenamiento para el centro de excelencia ATP/OSAT de Chihuahua	73
6.1 Principios Fundamentales del modelo formativo	73
6.2 Estructura curricular por casos de desarrollo	75
6.2.1 Fase 0 (Año 1-2): El Cimiento del talento – Formando técnicos "Cleanroom-Ready"	75
6.2.2 Fase 1 (Año 3-5): La Especialización técnica – Forjando operadores de proceso	75
6.2.2.1 Rutas de especialización modulares.....	76
6.2.3 Fase 2 (Año 5+): La Maduración – Cultivando a los futuros líderes e innovadores	77
6.2.3.1 Programas avanzados y de desarrollo de ingeniería:	77
6.4 Metodología pedagógica y la experiencia del estudiante	78
6.5 Estrategia de Integración 360° para el centro de excelencia ATP/OSAT de Chihuahua	79
6.5.1 Integración con el ecosistema educativo	79
6.5.1.1 Colaboración estratégica con la Educación Media Superior (CONALEP, CBTIS, CECyTECH, COBACH, etc.).....	80
6.5.1.2 Sinergia profunda con la Educación Superior (UACH, CIMAV, UACJ, ITCJ, ITCH, ITESM, UTCJ, UTPN, UPCH, otros)	81

6.5.1.3 Forjando la alianza industrial y la credibilidad global	82
6.5.1.3.1 El Consorcio industrial: De Socio a propietario del modelo	82
6.5.1.3.2 Estrategia de certificación: El Sello de calidad y reconocimiento global...	83
7.0 Análisis de mercado OSAT/ATP en Norteamérica: Catalizando la revolución del Silicio desde Chihuahua	85
7.1 El Nuevo paradigma: Análisis de mercado y demanda potencial en Norteamérica	85
7.2 La oportunidad Chihuahuense: Integración de cadenas de suministro y sectores estratégicos	87
7.3 Navegando la incertidumbre: Amenazas arancelarias y la coyuntura geopolítica	88
7.3.1 El proteccionismo recargado: Más allá de los aranceles a China	88
7.3.1.1 El TMEC bajo asedio: La crítica revisión de 2026	89
7.3.1.2 Otras amenazas a considerar.....	90
8.0 Modelo operativo y de gobernanza para el centro ATP/OSAT de Chihuahua: Estructura para la sostenibilidad a largo plazo.....	91
8.1 Figura legal y modelo de gestión	91
8.1.1 La figura legal propuesta: Asociación Civil (A.C.) con un consejo directivo tripartita	91
8.1.2 Modelo de gobernanza.....	92
8.2 Alianzas Estratégicas.....	93
8.3 Estructura organizativa sugerida.....	94
8.4 Modelo de sostenibilidad financiera	96
8.4.1 Fuentes de ingreso por fases:	96
9.0 Análisis de impacto del Centro de Excelencia ATP/OSAT: Transformación estratégica de la economía Chihuahuense	99
9.1 Impacto en el desarrollo regional: De la manufactura de volumen al conocimiento de valor	99
9.2 Impacto en la formación de talento	100
9.3 Impacto en la competitividad industrial	101
9.4 Impacto en la transición tecnológica	102

10. Conclusiones y recomendaciones	104
10.1 Conclusiones fundamentales del estudio	104
10.1.1 Sobre el contexto geopolítico y de mercado	104
10.1.2 Sobre las capacidades de Chihuahua	105
10.1.3 Sobre el modelo operativo y los riesgos	105
10.2 Recomendaciones	106
10.2.1 Políticas públicas y acciones gubernamentales para el fomento ATP/OSAT	106
10.2.2 Acciones para el sector industrial y el consorcio	107
10.2.3 Acciones para la academia y el centro de entrenamiento	107

Índice de figuras

Figura 1 Distribución de los clústeres de semiconductores en India.	16
Figura 2 Ecosistema de diseño de semiconductores en Vietnam.	19
Figura 3 Ecosistema OSAT de semiconductores en Vietnam.	19
Figura 4 Ecosistema OSAT de semiconductores en Vietnam.	22
Figura 5 Corredor Económico Oriental (EEC).	25
Figura 6 Oportunidades de Tailandia en la industria de semiconductores.	25
Figura 7 Ecosistemas de parques científicos en Tailandia.	26
Figura 8 Ecosistemas de la industria de semiconductores en México.	34
Figura 9 Segmentos de mercado de semiconductores y la posición de México con el programa Kutsari.	42
Figura 10 Ecosistema OSAT ya establecido en Chihuahua.	45
Figura 11 Flujo del proceso de corte de obleas en semiconductores.	51
Figura 12 Proceso de unión del chip al sustrato.	52
Figura 13 Chip protegido con resina epóxica para evitar corto circuitos y fallas mecánicas.	53
Figura 14 Flujo del proceso desde diseño hasta individualización de chips.	53
Figura 15 .- Proceso de prueba funcional de la oblea.	54
Figura 16 Proceso de mortalidad infantil inducida por la prueba de quemado.	55
Figura 17 Evolución del proceso de empaquetamiento de chips.	56
Figura 18 Diagrama de flujo del centro de enseñanza avanzada ATP (OSAT).	64
Figura 19 Modelo de gobernanza y estructura administrativa propuesta.	96

Índice de tablas

Tabla 1 Análisis de la situación de la industria de semiconductores en México.....	41
Tabla 2 Análisis de la fuerza laboral en el estado de Chihuahua con orientación en semiconductores.	46
Tabla 3 Instituciones de educación superior y centros de investigación evaluados.	47
Tabla 4 Matriz de capacidades académicas e infraestructura de las instituciones de educación superior y centros de investigación en el estado de Chihuahua.	49
Tabla 5 Fortalezas y oportunidades de mejora en el sistema de educación superior y centros de investigación en el estado de Chihuahua en el área de semiconductores.	50
Tabla 6 Áreas propuestas para el Centro de Entrenamiento ATP	61
Tabla 7 Costo de equipo para zona de capacitación teórica.	65
Tabla 8 Costo de equipo para zona de capacitación practica en prueba eléctrica.	66
Tabla 9 Costo de equipo para zona de capacitación de línea de ensamblaje y prueba OSAT.....	66
Tabla 10 Costo de equipo para áreas generales y auxiliares del centro.	67
Tabla 11 Resumen de costos de inversión requerida en equipo.	67
Tabla 12 Programa de Formación Troncal ATP-1	76

1.- Resumen ejecutivo

El proyecto titulado “Centro de manufactura avanzada: Estudio para un proyecto piloto en ensamble y prueba de semiconductores” constituye una iniciativa estratégica que responde a la necesidad de integrar a México —y en particular al estado de Chihuahua— en la cadena global de valor de semiconductores, específicamente en el segmento OSAT por sus siglas en inglés (Outsourced Semiconductor Assembly and Test). En un contexto geopolítico y tecnológico donde la producción de semiconductores ha adquirido un papel crucial para la seguridad económica y tecnológica, este proyecto busca sentar las bases conceptuales y operativas para establecer en Ciudad Juárez un nodo industrial especializado en manufactura avanzada, con énfasis en ensamble y prueba de chips “legacy”.

Con una duración comprendida entre el 1 de abril y el 15 de noviembre de 2025, y financiado con recursos del sector público por un monto de 350,000 pesos, este estudio piloto tiene como objetivo elaborar una hoja de ruta integral para la creación de un centro OSAT que no solo sea viable técnica y económicamente, sino que también se alinee con las políticas públicas nacionales de innovación, industrialización y relocalización estratégica (nearshoring). El alcance del proyecto contempla el mapeo del ecosistema local, la identificación de actores clave en los sectores académico e industrial, el análisis de capacidades instaladas, la evaluación de incentivos gubernamentales y el diseño de una estructura operativa para un centro que responda a los estándares internacionales del sector.

Ciudad Juárez es una elección estratégica para el desarrollo de este polo tecnológico. Por su ubicación fronteriza, sólida infraestructura logística y tradición industrial en sectores electrónicos y automotrices, la región se encuentra en una posición privilegiada para integrarse en la cadena de suministro de semiconductores de América del Norte. Su cercanía con centros tecnológicos como El Paso y su inclusión en la “Ruta del Semiconductor” —que conecta a Phoenix, Austin y Silicon Valley— refuerzan la viabilidad del proyecto. Además, el estado de Chihuahua ya cuenta con un ecosistema educativo que forma talento técnico en áreas clave como mecatrónica, electrónica, automatización y nanotecnología, lo que facilita la futura formación especializada requerida para las operaciones OSAT.

El estudio contempla tres líneas de acción fundamentales. La primera es el mapeo exhaustivo del ecosistema, que busca identificar empresas tecnológicas, proveedores, startups, centros de investigación y universidades con capacidades relevantes para el ensamble y prueba de semiconductores. Esta etapa será crucial para establecer alianzas estratégicas y generar sinergias que potencien el desarrollo regional. La segunda línea de acción implica el análisis de incentivos económicos. Aquí se investigarán los esquemas de

financiamiento, subsidios, créditos fiscales y beneficios regulatorios que puedan respaldar el proyecto, incluyendo los ofrecidos por los tres niveles de gobierno, así como aquellos derivados del Plan México y del programa federal Kutsari para semiconductores. Por último, se diseñará una hoja de ruta operativa que detalle fases de desarrollo (piloto, escalamiento, consolidación), necesidades de infraestructura (salas limpias, laboratorios de prueba, líneas de ensamblaje), requerimientos de equipo, procesos de calidad y modelos de gestión de talento.

En el plano técnico, el proyecto analizará qué tipo de chips serán el foco del centro, diferenciando entre semiconductores “legacy” y tecnologías avanzadas. Esta definición será determinante para especificar las necesidades de equipo, como “wire bonders”, “testers” automáticos y sistemas de empaque, así como para determinar los métodos de control de calidad y trazabilidad que se implementarán. Asimismo, se evaluarán los proveedores de tecnología y servicios especializados que pudieran integrarse como socios estratégicos o anclas del ecosistema.

Uno de los objetivos más relevantes del proyecto es que sienta las bases para un modelo replicable y escalable. Aunque el estudio tiene un carácter conceptual, su impacto potencial es alto: contribuirá a insertar a Chihuahua en un sector global de alta especialización, generar empleos calificados, atraer inversión extranjera directa y diversificar la matriz industrial regional. En línea con los objetivos del Plan México —que busca convertir a México en un socio confiable en la manufactura avanzada de tecnologías críticas— este proyecto piloto en Ciudad Juárez representa un primer paso hacia la instalación de capacidades locales en uno de los eslabones más importantes y menos desarrollados de la cadena de semiconductores en el país.

El sector OSAT representa una gran oportunidad para México, ya que actualmente está dominado por países asiáticos como Taiwán, Corea del Sur, Malasia y China. Dado que las tensiones geopolíticas han incentivado a empresas estadounidenses y europeas a diversificar sus operaciones fuera de Asia, México se perfila como una alternativa competitiva gracias a su cercanía geográfica, su red de tratados comerciales y su creciente base de talento. En este contexto, Chihuahua puede capitalizar su experiencia industrial, su fuerza laboral calificada y sus capacidades logísticas para liderar esta transformación.

El desarrollo del centro OSAT en Chihuahua no solo responde a una estrategia de industrialización avanzada, sino que también tiene un componente social relevante. Al fomentar la colaboración entre universidades, empresas y gobierno, se generan condiciones para la creación de empleo formal, la transferencia de conocimiento y el fortalecimiento de capacidades locales. Esto contribuye a un modelo de desarrollo más

equitativo y sostenible, en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y las políticas de innovación inclusiva promovidas a nivel nacional.

En resumen, este proyecto piloto de manufactura avanzada en Ciudad Juárez representa una apuesta estratégica por el futuro industrial de Chihuahua y de México. Su enfoque metodológico, su alineación con políticas públicas nacionales y su visión de largo plazo lo convierten en una iniciativa con alto potencial de impacto. A través de la construcción de capacidades locales en ensamble y prueba de semiconductores, el estado puede consolidarse como un referente en el ecosistema tecnológico de América del Norte, avanzando hacia un modelo económico basado en innovación, sofisticación industrial y soberanía tecnológica.

2.- Contexto nacional e internacional del sector de semiconductores

2.1 Panorama internacional de la industria de semiconductores: Un Análisis para naciones emergentes

La industria global de semiconductores se encuentra en un punto de inflexión, caracterizada por un crecimiento acelerado impulsado por la inteligencia artificial (IA), tensiones geopolíticas que reconfiguran las cadenas de suministro y una intensa carrera por la innovación. Este análisis, basado en reportes recientes, detalla el contexto internacional y propone estrategias para que las naciones emergentes se integren y prosperen en esta vital industria.

2.1.1 Crecimiento impulsado por la IA y las megatendencias

Se proyecta que el mercado global de semiconductores alcanzará un valor de un billón de dólares para 2029/2030, con un crecimiento anual compuesto (CAGR) de aproximadamente el 10%. Este auge se debe principalmente a la integración de herramientas de IA generativa en dispositivos electrónicos (CAGR del 8% para wearables, 2024-2028) y soluciones de computación (CAGR del 12%), el despliegue a gran escala de la tecnología 5G en el mercado móvil (CAGR del 12%) y la creciente inversión en centros de datos (CAGR del 15-20%). La demanda de chips de IA, incluyendo GPU's, TPU's y aceleradores personalizados, superará los 150 mil millones de dólares en ingresos para 2025, impulsada por la IA generativa y aplicaciones de aprendizaje automático a gran escala. En 2024, los chips de IA generativa representaron más de 125 mil millones de dólares del total de ventas de chips, y se predice que superarán los 150 mil millones en 2025.

A pesar de un crecimiento moderado en algunos sectores como la automotriz (CAGR del 5% para 2024-2028 debido a una demanda poco entusiasta en Europa y EE. UU. y una electrificación más gradual de lo esperado), la demanda de chips de IA sigue siendo el motor principal. La industria automotriz global de semiconductores se proyecta que crecerá de 51 mil millones de dólares en 2025 a 102 mil millones para 2034, con un CAGR del 8%. Se espera que la electrificación, la conducción autónoma y los sistemas avanzados de asistencia al conductor impulsen este crecimiento.

2.1.2 Cadenas de suministro fragmentadas y tensiones geopolíticas

La cadena de suministro de semiconductores es compleja y globalmente dispersa, con países que dominan segmentos específicos:

- **Materias primas:** China controla el suministro de materias primas a través de sus grandes reservas y capacidades de refinado de elementos de tierras raras.

- **Diseño y propiedad intelectual (IP):** Estados Unidos lidera los segmentos de IP y diseño, albergando a las principales empresas de semiconductores, proveedores de automatización de diseño electrónico (EDA) y licenciarios de IP. En 2023, las firmas de semiconductores con sede en EE. UU. tenían el 50.2% de la cuota de mercado global.
- **Fabricación (“Foundries”):** China y Taiwán tienen las mayores capacidades de fabricación. Taiwán, en particular, domina la fabricación de semiconductores de gama alta, produciendo la mayoría de los chips lógicos más avanzados del mundo. TSMC, la principal fundición por contrato se proyecta que aumentará su cuota de mercado del 59% en 2023 al 66% en 2025.
- **Ensamble, prueba y empaque (ATP):** El sudeste asiático se ha especializado en el segmento de ATP. Se espera que la cuota de mercado de empaquetado y pruebas de China continúe aumentando en 2025, mientras que los actores taiwaneses consolidarán sus ventajas de empaquetado en chips de gama alta como las GPU’s de IA.
- **Equipos:** Europa se destaca en el mercado de equipos para semiconductores, con empresas líderes en herramientas críticas para fotolitografía, grabado y deposición.

Estas especializaciones geográficas, aunque eficientes, hacen que la cadena de suministro sea vulnerable a interrupciones. Las tensiones geopolíticas, especialmente entre EE. UU. y China, han llevado a políticas de chips en competencia. Estados Unidos ha implementado controles de exportación y restricciones para limitar el acceso de China a la tecnología avanzada de semiconductores. Por su parte, China ha invertido fuertemente en su industria nacional para lograr la autosuficiencia. La guerra comercial ha impulsado a China a desarrollar soluciones internas.

2.1.3 El papel de las naciones emergentes en la industria de los semiconductores

La industria global de semiconductores, valorada en más de 500 mil millones de dólares en 2023 y proyectada para alcanzar un billón de dólares para 2029/2030, es el motor de la innovación tecnológica y la economía digital mundial. Sin embargo, esta industria se caracteriza por una cadena de suministro compleja y fragmentada, con puntos de concentración geográfica que generan vulnerabilidades. En este contexto, naciones emergentes, incluyendo a la India, Vietnam, Malasia, Tailandia, Filipinas, Costa Rica y México, entre otras, tienen la oportunidad de forjar un papel estratégico, no solo como consumidores, sino como actores clave en la reconfiguración de la cadena de valor. Esta sección analiza los esfuerzos puntuales que cada país de los antes mencionados han

realizado, excepto México que se trata en otro punto, y de ahí entender sus experiencias, esfuerzos, contextos regionales, para poder determinar una hoja de ruta.

2.1.3.1 India: Apuesta por la autosuficiencia en semiconductores

Desde 2021, la India ha emprendido una ambiciosa estrategia para establecerse como un actor clave en la cadena de suministro global de semiconductores, impulsada por su visión de una "India autosuficiente" (Atmanirbhar Bharat) y la necesidad de reducir la dependencia de las cadenas de suministro externas. La piedra angular de esta estrategia es el Esquema de Incentivos Vinculados a la Producción (PLI) para semiconductores (ISM-India Semiconductors Mission) y pantallas, anunciado en diciembre de 2021. Este esquema, con un valor de 10 mil millones de dólares, busca atraer inversiones significativas en diseño, fabricación y empaquetado de semiconductores en el país.

La iniciativa PLI se enmarca en un esfuerzo más amplio que abarca aspectos legales, fiscales y de incentivos para crear un ecosistema atractivo:

Incentivos fiscales y financieros: El gobierno indio ofrece un apoyo financiero de hasta el 50% de los costos del proyecto para el establecimiento de instalaciones de fabricación de obleas (fabs) y el 30% para instalaciones de ensamblaje, prueba, marcado y empaquetado (ATMP) o empaquetado OSAT. Además, se proporcionan incentivos para el diseño de chips (DLIS-Design Linked Incentive Scheme), buscando promover la innovación local.

Marco legal y regulatorio: Se ha trabajado en la creación de un entorno regulatorio predecible y favorable a la inversión, con ventanillas únicas para facilitar los trámites y aprobaciones.

Desarrollo de talento: Consciente de la escasez global de talento en semiconductores, India está fortaleciendo sus programas educativos y de formación. Esto incluye la adaptación de planes de estudio en universidades y la promoción de programas de desarrollo de habilidades específicas para la industria, con el objetivo de generar una fuerza laboral calificada. La "Misión India de Semiconductores" (PLI-ISM) tiene entre sus objetivos convertir al país en un centro de talento. A través de PLI-ISM India está fortaleciendo su base educativa buscando formar 85,000 ingenieros especializados en los próximos cinco años. También ha establecido alianzas con empresas como Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC) e Intel para desarrollar capacidades locales en empaquetado y pruebas (OSAT).

Colaboración y consorcios: El gobierno indio busca activamente la colaboración con actores globales de la industria para el desarrollo tecnológico y la transferencia de conocimiento.

Desde el lanzamiento de la PLI-ISM, se han aprobado y anunciado varias inversiones importantes, consolidando el progreso de la India en el sector de semiconductores:

Micron Technology: En junio de 2023, Micron Technology anunció una inversión de 2.75 mil millones de dólares para establecer una instalación de ensamblaje y prueba (ATMP) en Sanand, Gujarat. Este proyecto, que cuenta con el apoyo del gobierno indio, busca la producción a gran escala de memorias. La primera fase de este proyecto, con una inversión de aproximadamente 2.75 mil millones de dólares, se espera que esté operativa a principios de 2025.

Tata Electronics Pvt Ltd: En marzo de 2024, el gobierno indio aprobó la propuesta de Tata Electronics para establecer una fábrica de semiconductores (chip fab) en Dholera, Gujarat. Este es un proyecto de fabricación de obleas a gran escala, con una inversión calculada de 11 mil millones de dólares. La fábrica se centrará en nodos de 28nm, 40nm, 55nm, 65nm, 90nm, 130nm y 180nm.

CG Power and Industrial Solutions Ltd (en asociación con Renesas Electronics Corporation y Star Microelectronics): En marzo de 2024, se aprobó la propuesta de CG Power para una instalación de semiconductores en Sanand, Gujarat, con una inversión de 978 millones de dólares. Este proyecto se enfoca en ATMP, con una especialización en productos de energía, analógicos y chips de señal mixta para los sectores automotriz, consumo e industrial.

Tata Semiconductor Assembly and Test (TSAT): También en marzo de 2024, se aprobó la propuesta de TSAT para una planta de ensamblaje de semiconductores en Morigaon, Assam, con una inversión de 3.25 mil millones de dólares. Esta instalación de ATMP tendrá una capacidad de 48 millones de unidades por día.

Inversión total calculada: Sumando estas inversiones aprobadas desde 2021, la India ha asegurado compromisos por un total de aproximadamente 17.978 mil millones de dólares en el sector de semiconductores.

Implicaciones y futuro

La misión India de semiconductores es un testimonio del compromiso de la India para asegurar su posición en la economía global de alta tecnología. Al enfocarse en toda la cadena de valor, desde el diseño hasta el empaquetado y la fabricación, y al ofrecer incentivos competitivos, la India está trabajando para diversificar la cadena de suministro de semiconductores. Esto no solo busca la autosuficiencia, sino que también contribuye a una mayor resiliencia en la industria global de semiconductores, que busca alternativas a las concentraciones geográficas actuales. El éxito de estos proyectos será crucial para determinar la capacidad de la India de convertirse en un actor principal y sostenible en el panorama de los semiconductores. La Figura 1 muestra los clústeres especializados en

semiconductores en la India y las empresas que lo constituyen, resalta que las últimas 3 inversiones se han realizado en la provincia de Gujarat con inversiones de alrededor 14 billones de dólares.

Nº	Estado	Ciudades / Zonas Clave	PIB Estatal (USD)	Empresas Principales
1	Uttar Pradesh	Noida, Greater Noida	\$230 mil millones	Dixon, LG, Samsung, Lava
2	Haryana	Gurgaon, Manesar	\$110 mil millones	Midea, TDK, Delta
3	Tamil Nadu	Sriperumbudur	\$260 mil millones	Flex, Acer, Dell, TATA, Foxconn, Samsung
4	Andhra Pradesh	Sri City, Kadapa	\$150 mil millones	Foxconn, Dixon, TCL, Neolync, PSA, Lenovo
5	Maharashtra	Pune	\$400 mil millones	LG, Belden, Haier, Jabil, Bosch
6	Karnataka	Bangalore, Mysore	\$250 mil millones	NVIDIA, Wistron, AMD, Intel, Qualcomm, AT&S, Samsung
7	Telangana	Hyderabad	\$140 mil millones	Micron, Google, Amazon, Microsoft
8	Gujarat	Dholera, Sanand	\$275 mil millones	TATA, PSMC, Micron, Renesas, CG Power, STARS, Infineon



Figura 1 Distribución de los clústeres de semiconductores en India.

2.1.3.2 Vietnam: Zonas económicas especiales y enfoque educativo técnico

Vietnam ha emergido como un actor clave en la cadena de suministro de semiconductores, especialmente desde 2021, gracias a sus esfuerzos concertados para atraer inversión extranjera directa (IED) y desarrollar un ecosistema local. El país se ha posicionado como una alternativa atractiva para las empresas que buscan diversificar sus operaciones y reducir la dependencia de centros de producción concentrados, en parte debido a las tensiones geopolíticas y la búsqueda de resiliencia en la cadena de suministro global.

El gobierno vietnamita ha implementado una serie de acciones coordinadas para fomentar el crecimiento del sector de semiconductores:

Estímulos e incentivos: Vietnam ofrece diversos incentivos a los inversores extranjeros, que incluyen exenciones de impuestos corporativos, reducciones de impuestos sobre la renta, incentivos a la exportación y alquileres de tierras reducidos o exentos por períodos prolongados. Estos estímulos buscan compensar los costos iniciales de instalación y operación.

Marco legal y de inversión: El gobierno ha trabajado en la simplificación de los procedimientos administrativos y en la mejora de la transparencia para facilitar la inversión extranjera. También ha firmado numerosos acuerdos de libre comercio, que facilitan el acceso a mercados y la importación de insumos clave.

Apoyos fiscales: Además de las exenciones fiscales, se han implementado políticas para el apoyo a la reexportación de materiales y componentes, lo que beneficia a las empresas con operaciones de ensamblaje y prueba.

Desarrollo de talento y educación: Reconociendo la importancia de una fuerza laboral calificada, Vietnam está invirtiendo en la mejora de sus programas de educación en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM). Se busca fortalecer las capacidades en ingeniería electrónica, ciencia de materiales y áreas relacionadas con la IA, que son fundamentales para la industria de semiconductores. Se están estableciendo asociaciones entre el gobierno, la industria y las universidades para capacitar a la fuerza laboral y asegurar un flujo constante de talento técnico.

Vietnam ha logrado atraer a importantes empresas globales del sector de semiconductores, principalmente en las etapas de ensamblaje, prueba y empaquetado (OSAT/ATMP), donde ya tienen una especialización:

Intel: Es uno de los inversores más destacados en Vietnam. Intel ha invertido significativamente en una gran planta de ensamblaje y prueba de chips en Ciudad Ho Chi Minh. En 2023, Intel invirtió 1.5 mil millones de dólares adicionales en su planta en Vietnam, lo que eleva su inversión total a 2.75 mil millones de dólares.

Amkor Technology: Otra empresa líder en OSAT que ha invertido en Vietnam. Amkor ha construido una megafábrica de ensamblaje y prueba de semiconductores en la provincia de Bac Ninh. Esta planta, que se espera que esté plenamente operativa a principios de 2025, es una de las instalaciones de semiconductores más grandes y modernas de Vietnam.

Se estima una inversión de aproximadamente 1.6 mil millones de dólares en varias fases hasta 2035. La fase inicial, operativa en 2024, tuvo una inversión de alrededor de 500 millones de dólares.

Samsung: Si bien Samsung no fabrica chips en Vietnam a la escala de una "foundry", tiene importantes operaciones de ensamblaje de componentes electrónicos, incluyendo aquellos que utilizan semiconductores. Sus inversiones en fabricación de teléfonos y otros productos electrónicos en Vietnam indirectamente impulsan la demanda y el desarrollo de la cadena de suministro de semiconductores.

Synopsys: La empresa de automatización de diseño electrónico (EDA) Synopsys ha establecido un centro de diseño y formación en Vietnam, lo que subraya el interés en desarrollar las capacidades de diseño de chips en el país. Desde 2005: Synopsys ha tenido presencia en Vietnam desde 2005 y abrió su primera oficina en el país en 2016.

- Agosto de 2022: Synopsys colaboró con el Saigón Hi-Tech Park (SHTP) en Ciudad Ho Chi Minh para establecer un centro de diseño de chips. Como parte de esta asociación, Synopsys donó licencias de software (valoradas en decenas de millones de dólares) a través de su Programa de Software Universitario.
- Septiembre de 2023: Synopsys firmó dos memorandos de entendimiento (MoU's) importantes durante la visita del Primer Ministro de Vietnam, Pham Minh Chinh, a la sede de Synopsys en Sunnyvale, California. El primer MoU fue con el Centro Nacional de Innovación de Vietnam (NIC), bajo el Ministerio de Planificación e Inversiones (MPI). El objetivo es impulsar la fuerza laboral de diseño de circuitos integrados (IC) y facilitar la comunidad de startups de diseño en Vietnam. Synopsys apoya el establecimiento de un centro de incubación de diseño de chips en el Parque de Alta Tecnología de Hoa Lac, Hanoi. El segundo MoU fue con la Autoridad de la Industria de Tecnologías de la Información y la Comunicación (AICTI) de Vietnam, bajo el Ministerio de Información y Comunicaciones (MIC). Este acuerdo busca avanzar el desarrollo de semiconductores en el país, apoyando el establecimiento de un instituto de investigación de semiconductores en Vietnam y la elaboración de una estrategia para el sector.
- Noviembre de 2023: Synopsys y la ciudad de Da Nang firmaron un MoU para la formación de la fuerza laboral en semiconductores. Synopsys apoya el centro de incubación de diseño de IC de Da Nang y ayuda a conectar a los ingenieros capacitados con oportunidades laborales.
- Diciembre de 2024: Synopsys abrió su cuarta oficina en Vietnam, en Hanoi, sumándose a las dos de Ciudad Ho Chi Minh y una en Da Nang. Esta expansión demuestra la creciente dedicación de la empresa a la economía y sociedad locales.

La Figura 2 muestra el ecosistema desarrollado en Vietnam con respecto al diseño de semiconductores, en donde se puede ver la alta participación de industria privada en centros auspiciados por el gobierno a través de sus zonas económicas especializadas.

Ciudad / Región	Empresas Presentes
Hanoi	Samsung Electronics, LG, Amkor Technology, Viettel High Tech, Toshiba, FPT Semiconductor, CoAsia SEMI Vietnam
Da Nang	Renesas, Synopsys, FPT Semiconductor, Hitachi, Savarti
Ho Chi Minh	VNChip, Microchip, Panasonic, Renesas, Samsung Electronics, Intel, FPT Semiconductor, Savarti, Synopsys, Uniquify
Paracel Islands	Savarti
Sprattly Islands	Synopsys, Savarti



Figura 2 Ecosistema de diseño de semiconductores en Vietnam.

La Figura 3 muestra el ecosistema de empresas que han invertido en Vietnam en el desarrollo de semiconductores y equipo electrónico desde 2006, En conjunto estas empresas han invertido 6.5 billones de 2006 a la fecha, desarrollando infraestructura OSAT, investigación y desarrollo, así como diseño.

Empresa	Monto de Inversión	Ubicación Aprox.
Samsung Electronics	USD 2.27 mil millones	Norte de Vietnam (Hanoi)
Amkor Technology	USD 1.6 mil millones	Norte de Vietnam
Hana Micron	USD 600 millones	Norte de Vietnam
PEGATRON	Sin monto especificado	Norte de Vietnam
HANMI	Sin monto especificado	Norte de Vietnam
FPT Semiconductor	Sin monto especificado	Norte de Vietnam
Viettel High Tech	Sin monto especificado	Centro de Vietnam
Intel	USD 1.5 mil millones	Sur de Vietnam (Ho Chi Minh)
Qualcomm	Sin monto especificado	Sur de Vietnam
Infineon	Sin monto especificado	Sur de Vietnam



Figura 3 Ecosistema OSAT de semiconductores en Vietnam.

2.1.3.3 Malasia: Especialización estratégica evolutiva

Malasia, con una trayectoria de más de 50 años en la industria de semiconductores, se ha consolidado como un actor crucial en la cadena de suministro global, especialmente en el segmento de Ensamblaje y Prueba (OSAT). A partir de 2021, el país ha intensificado sus esfuerzos para atraer más inversiones y ascender en la cadena de valor, aprovechando las reconfiguraciones geopolíticas y la creciente demanda de semiconductores.

Acciones Específicas Desarrolladas por Malasia (2021-a la fecha):

Plan estratégico de semiconductores (SSP): Lanzada recientemente la SSP busca consolidar la posición de Malasia y atraer inversiones de alto valor. Esta estrategia se centra en:

- Fortalecer la posición en OSAT y avanzar hacia el diseño y fabricación front-end: Si bien Malasia es fuerte en OSAT, controlando aproximadamente el 13% del mercado global de empaquetado, ensamblaje y prueba de chips, la SSP busca atraer inversiones en actividades de mayor valor añadido, como el diseño de circuitos integrados (IC) y la fabricación de obleas (fabs).
- Desarrollo de talento: La estrategia pone un fuerte énfasis en la creación de un flujo constante de ingenieros y técnicos calificados. Malasia ha fomentado activamente la colaboración entre universidades, politécnicos y la industria para asegurar que los planes de estudio estén alineados con las necesidades del sector. Se han establecido programas de capacitación específicos y centros de excelencia.
- Incentivos específicos: El gobierno malayo ha destinado al menos 25 mil millones de ringgit (~5.9 mil millones de dólares estadounidenses) en apoyo fiscal para operacionalizar la SSP. Estos fondos están dirigidos a incentivos específicos que fomenten el crecimiento del sector, incluyendo: Exenciones y reducciones de impuestos para empresas que inviertan en actividades clave del sector como son el "Pioneer Status" (exención del impuesto sobre la renta por un período) o "Investment Tax Allowance" (deducción por inversiones de capital). Apoyo financiero directo para proyectos estratégicos en diseño de circuitos integrados, empaquetado avanzado y fabricación de equipos. Exenciones de tarifas de visas, espacios de oficina subsidiados y servicios de reubicación para atraer a empresas tecnológicas globales. Además, se ha establecido un fondo soberano de 1 mil millones de ringgit (~236 millones USD) para invertir en empresas locales de alto crecimiento en el sector eléctrico y electrónico.

- Zonas industriales designadas: Infraestructura especializada y conectividad en parques tecnológicos como el Parque Industrial de Alta Tecnología de Kulim y el Parque Industrial Sama Jaya en Sarawak.

El gobierno, a través de agencias como la Malaysian Investment Development Authority (MIDA) y la Malaysia Digital Economy Corporation (MDEC), ha implementado programas para mejorar las habilidades de la fuerza laboral existente y formar nuevo talento.

MIDA como ventanilla única: La MIDA actúa como la principal agencia de promoción de inversiones del país, facilitando los procesos para los inversores y ofreciendo un punto de contacto centralizado.

Políticas pro-inversión: Malasia ha mantenido políticas estables y favorables a la inversión extranjera.

Enfoque en la cadena de suministro y resiliencia: El país se ha posicionado como un destino confiable y estable para la diversificación de la cadena de suministro, especialmente en el contexto de las tensiones comerciales entre EE. UU. y China.

Varias empresas multinacionales han anunciado nuevas inversiones o expansiones significativas en Malasia desde 2021:

Intel: En diciembre de 2021, Intel anunció una inversión de más de 7 mil millones de dólares para expandir sus capacidades de ensamblaje y prueba en Penang y Kulim. Esta inversión busca aumentar la capacidad de producción y avanzar hacia tecnologías de empaquetado más sofisticadas.

Infineon technologies: En febrero de 2022, Infineon anunció una inversión de más de 2 mil millones de euros (aproximadamente 2.18 mil millones de dólares) para construir una nueva planta de fabricación de obleas (fab) de carburo de silicio (SiC) y nitruro de galio (GaN) en Kulim. Esta es una inversión significativa en la fabricación front-end, una de las metas de la SSP.

Ericsson: Aunque no es un fabricante de chips per se, Ericsson anunció en mayo de 2024 sus planes de fabricar sus productos 5G más avanzados en Malasia, en asociación con una empresa de fabricación de productos electrónicos con sede en Penang. Esto demuestra la fortaleza del ecosistema de fabricación electrónica del país, que depende de los semiconductores.

Texas instruments: Ha tenido una presencia de larga data en Malasia y continúa invirtiendo en la expansión y mejora de sus instalaciones de ensamblaje y prueba. El compromiso de TI

es de 3.2 billones de dólares de 2021 a 2025 para expandir sus operaciones de manufactura en Kuala Lumpur y Melaka.

AT&S (Austria Technologie & Systemtechnik): Esta empresa austriaca, uno de los principales fabricantes mundiales de placas de circuito impreso (PCB) de alta gama y sustratos de IC, ha realizado una inversión masiva de 1.7 mil millones de euros (aproximadamente 1.85 mil millones de dólares) para construir una nueva planta de producción de sustratos de IC en el Parque Industrial de Alta Tecnología de Kulim, Kedah. La producción comenzó a finales de 2024.

La Figura 4 muestra el ecosistema se la industria de semiconductores en Malasia, a pesar de contar con un 13% de la participación del mercado mundial OSAR, malasia sigue promoviendo políticas públicas e incentivos para la atracción de más industria de este tipo y seguir creciendo su reputación como un socio estable y confiable. El total de inversión de 2021 a la fecha se estima en ~14.2 billones de dólares.

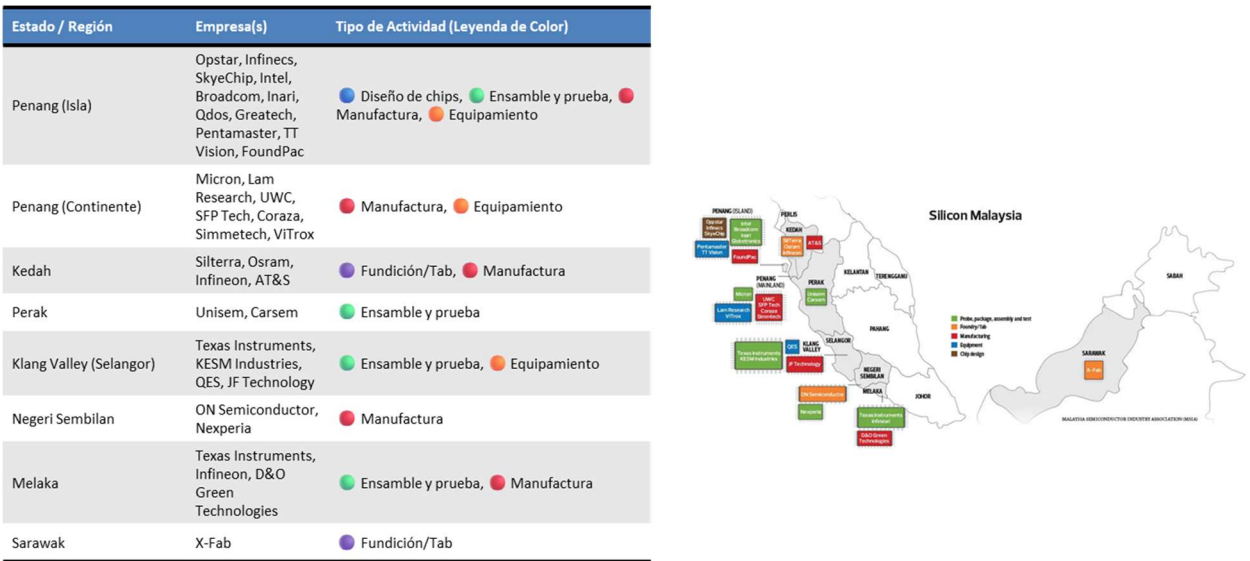


Figura 4 Ecosistema OSAT de semiconductores en Vietnam.

En resumen, Malasia está redoblando sus esfuerzos para mantener y expandir su papel en la industria global de semiconductores. A través de incentivos fiscales, una estrategia nacional enfocada, inversiones en educación y una promoción activa de la inversión, el país está atrayendo significativos flujos de capital privado, especialmente en el segmento de OSAT y, cada vez más, en áreas de mayor valor como la fabricación de semiconductores de potencia y sustratos de IC.

2.1.3.4 Tailandia potencia emergente en la industria de semiconductores

Tailandia ha sido parte integral de la cadena de valor global de la industria electrónica desde la década de 1970, destacándose inicialmente en actividades de ensamblaje y pruebas de componentes electrónicos como diodos y capacitores. Durante los años 80, con el apoyo de organizaciones públicas de investigación y tecnología, el país buscó avanzar en la escalera tecnológica, iniciando actividades de investigación y desarrollo en microelectrónica en 1989 mediante una cooperación entre la Asociación de Naciones del Sudeste Asiático (ASEAN) y Australia.

A pesar de que la industria de semiconductores tailandesa ha estado tradicionalmente enfocada en procesos de ensamblaje y empaque, representando aproximadamente una cuarta parte de las exportaciones totales del sector eléctrico y electrónico, el país ha reconocido la necesidad de avanzar hacia segmentos de mayor valor agregado, como el diseño de chips y la fabricación de obleas.

Desde 2021, Tailandia ha implementado una serie de medidas proactivas para atraer inversiones en la industria de semiconductores, con un enfoque en la expansión de las capacidades existentes y la captación de nuevas tecnologías.

Tailandia ha implementado una serie de políticas y estímulos para posicionarse como un centro estratégico en la industria global de semiconductores. A continuación, se detallan las principales acciones y programas desarrollados en este ámbito:

Promoción activa por el consejo de inversiones (BOI): El Consejo de Inversiones de Tailandia (BOI) ha desempeñado un papel central en la promoción de Tailandia como destino de inversión para la industria de semiconductores. Han organizado eventos, ferias, seminarios web y reuniones con empresas líderes a nivel mundial para presentar las ventajas competitivas del país.

Enfoque en la cadena de suministro completa: Si bien el BOI ha continuado apoyando la inversión en el ensamblaje y las pruebas (“back-end”), ha puesto un énfasis particular en atraer inversiones en actividades de mayor valor añadido, como el diseño de circuitos integrados, la fabricación de obleas (“front-end”) y materiales avanzados para semiconductores.

Iniciativas para fortalecer el ecosistema: El gobierno ha buscado activamente socios internacionales y ha fomentado la colaboración entre la industria, la academia y el gobierno para desarrollar un ecosistema de semiconductores más robusto y autosuficiente. En este rubro se han desarrollado las siguientes acciones:

Incentivos BOI Mejorados: El BOI ha ofrecido un paquete de incentivos altamente competitivos para proyectos de semiconductores, que incluyen:

- Exenciones de impuestos corporativos: Otorgamiento de exenciones de impuestos sobre la renta corporativa de hasta 10 años, con extensiones potenciales para proyectos de alto valor y tecnología avanzada. En algunos casos, esto puede incluir reducciones adicionales después del período de exención.
- Exención de aranceles de importación: Exención de aranceles de importación sobre maquinaria, materias primas y materiales esenciales no disponibles en Tailandia.
- Deducciones dobles de costos de transporte, electricidad y agua: Durante 10 años a partir de la fecha de generación de ingresos para proyectos específicos.
- Además de la depreciación normal, una deducción del 25% del Costo de Instalación o Construcción de Infraestructura.
- Incentivos para I+D: Apoyo fiscal para actividades de investigación y desarrollo, incluyendo deducciones de impuestos adicionales.
- Incentivos para el desarrollo de talentos: Apoyo para la capacitación y el desarrollo de la fuerza laboral.
- Zona económica especial de corredor económico oriental (EEC): Los proyectos de semiconductores ubicados dentro del EEC pueden beneficiarse de incentivos adicionales, como exenciones fiscales más largas, permisos de trabajo facilitados para expertos extranjeros y servicios de ventanilla única. La EEC abarca las provincias de Chachoengsao, Chonburi y Rayong, cubriendo una superficie de aproximadamente 13,285 km². Su objetivo es atraer inversiones en 12 industrias clave, incluyendo electrónica inteligente, movilidad de próxima generación, biotecnología, turismo médico, aeroespacial y semiconductores. La EEC está diseñada como una zona de desarrollo integral que combina infraestructura avanzada, incentivos fiscales y un entorno regulatorio favorable para fomentar la inversión extranjera directa. La figura 4 muestra la ubicación e infraestructura con la que cuenta el ECC desde 2017 cuando se constituyó a la fecha la EEC ha captado una inversión acumulada de 2018 a 2023 de ~52.4 billones de dólares, buscando una inversión de 60 billones de dólares para 2027. En los primeros 4 meses de 2025 se llevan recaudadas inversiones por 856 millones de dólares en este corredor.

Tipo de Infraestructura	Elementos Clave	Ubicación / Ruta
Tren de Alta Velocidad (azul)	- Don Mueang Intl. Airport- Suvarnabhumi Intl. Airport- U-Tapao Airport	Conecta Bangkok con Chachoengsao, Chonburi y Rayong
Ferrocarril de doble vía (verde)	- Conexión industrial y portuaria- Sattahip - Laem Chabang - Map Ta Phut	Rutas logísticas para carga industrial
Autopistas (rosa)	- Bangkok - Pattaya - Rayong	Corredores terrestres rápidos para transporte
Puertos	- Laem Chabang Port- Map Ta Phut Port- Sattahip Commercial Port	Comercio marítimo internacional
Aeropuertos	- Don Mueang- Suvarnabhumi- U- Tapao	Transporte aéreo regional e internacional
Estaciones de Tren	- Chachoengsao, Chonburi, Si Racha, Pattaya, Rayong	Logística de pasajeros y carga

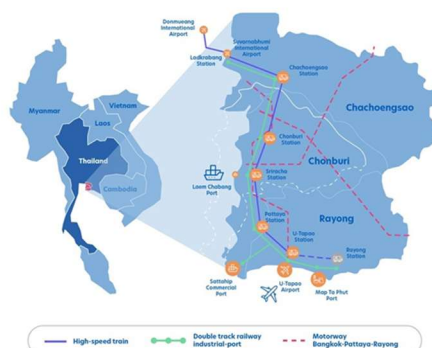


Figura 5 Corredor Económico Oriental (EEC).

Las estrategias de Tailandia en la industria de los semiconductores van de pasar de procesos de singularización y empaque al proceso completo OSAT (que ya se realiza), Tailandia hoy en día cuenta con capacidades similares a Malasia y representa el 7.5% de la producción OSAT a nivel mundial lo que representa el lugar 12 del mundo. Con respecto a procesos front-end Tailandia busca entrar a la fabricación de obleas para semiconductores de menos de 10 nm. La Figura 6, representa el ecosistema actual y las oportunidades de Tailandia en la industria de semiconductores.

Etapas del Proceso	Subproceso	Países Involucrados Actualmente	Oportunidad para Tailandia
Back End	Ensamble, empaque y pruebas (OSAT)	CN China, KR Corea, TW Taiwán, VN Vietnam, MY Malasia, TH Tailandia (incipiente)	Expandir capacidad OSAT y empaque
Front End	Fabricación avanzada (<10nm)	TW Taiwán, KR Corea, US EE.UU.	No actividad actual ni planeada clara
Front End	Fabricación convencional (>10nm)	CN China, SG Singapur, JP Japón, KR Corea, US EE.UU.	Potencial de entrada en tecnología >10nm
Front End	Memorias	KR Corea, JP Japón	Sin actividad en Tailandia

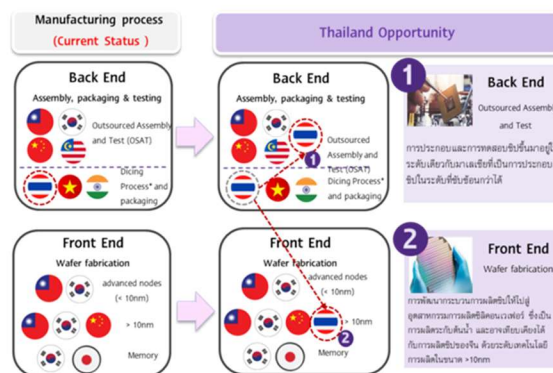


Figura 6 Oportunidades de Tailandia en la industria de semiconductores.

Reconociendo la importancia del capital humano, Tailandia ha lanzado programas para desarrollar una fuerza laboral especializada:

Plan Nacional de Desarrollo de Talento en Semiconductores y Electrónica Avanzada: Iniciado por el Ministerio de Educación Superior, Ciencia, Investigación e Innovación (MHESI), este plan tiene como objetivo capacitar a más de 80,000 profesionales altamente calificados en un período de cinco años.

Colaboraciones académicas: Alianzas entre universidades y empresas para desarrollar currículos enfocados en microelectrónica y diseño de chips.

Centros de investigación: Establecimiento de parques científicos y tecnológicos, como el sistema de Parques Científicos de Tailandia, que alberga centros de investigación en nanotecnología y electrónica y materiales.

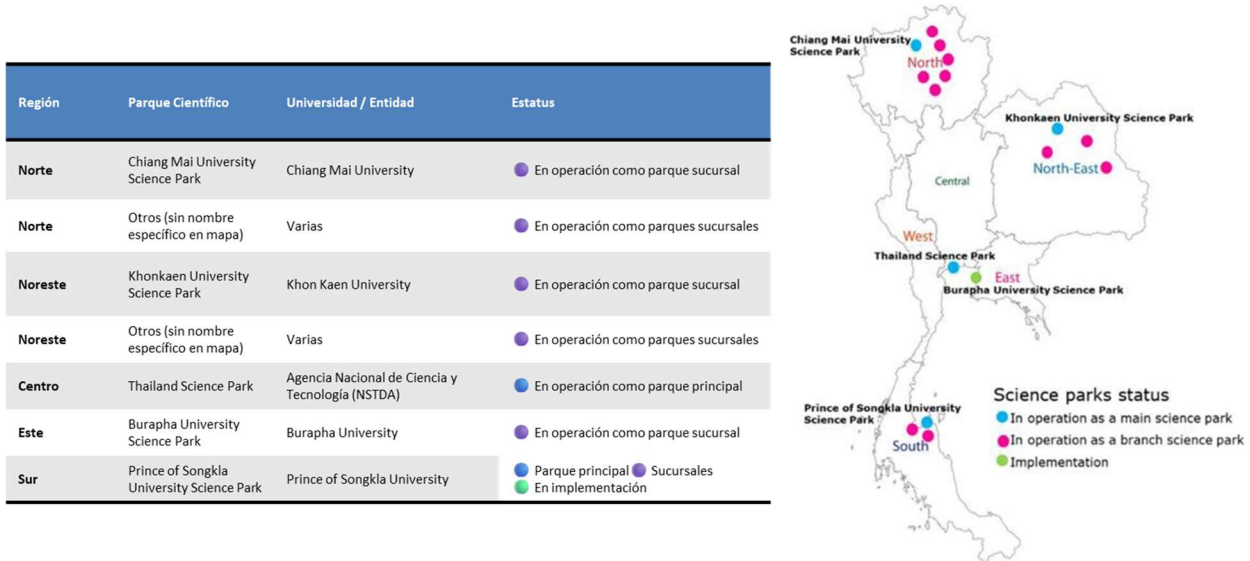


Figura 7 Ecosistemas de parques científicos en Tailandia.

Tailandia está consolidando su posición como un centro emergente en tecnologías avanzadas, con un enfoque particular en la industria de semiconductores, la electromovilidad y la inteligencia artificial.

El país busca avanzar en la cadena de valor de los semiconductores, pasando de actividades de ensamblaje a áreas de mayor valor como el diseño de chips y la fabricación de obleas. Para ello, ha establecido el Comité Nacional de Semiconductores y Electrónica Avanzada, presidido por el primer ministro, para coordinar políticas y atraer inversiones estratégicas. Las empresas que invierten en investigación y desarrollo pueden beneficiarse de exenciones fiscales de hasta 13 años, sin límite en la exención del impuesto sobre la renta corporativa.

El gobierno tailandés ha lanzado un ambicioso plan para capacitar a 280,000 trabajadores en sectores de alta tecnología en los próximos cinco años, incluyendo 80,000 especialistas en semiconductores. Este esfuerzo incluye cursos de formación y deducciones fiscales del 250% para las empresas que participen en programas de capacitación.

El Corredor Económico del Este (EEC) se ha convertido en un núcleo de innovación, albergando parques científicos como el Thailand Science Park y el Digital Park Thailand.

Estos centros ofrecen instalaciones de investigación y desarrollo, así como incentivos para empresas tecnológicas.

Tailandia ofrece una combinación atractiva de incentivos fiscales, infraestructura desarrollada y una ubicación estratégica en el sudeste asiático. Las políticas gubernamentales están diseñadas para atraer inversiones extranjeras directas, especialmente en sectores de tecnología avanzada.

En resumen, Tailandia está implementando una estrategia integral que combina políticas fiscales favorables, desarrollo de talento, infraestructura avanzada y un entorno propicio para la inversión, posicionándose como un actor clave en las tecnologías emergentes a nivel regional.

2.1.3.5 Costa Rica: Hacia un hub estratégico de semiconductores en América Latina

Desde la llegada de Intel en 1997, Costa Rica ha evolucionado de ser un centro de ensamblaje a convertirse en un actor clave en la cadena global de semiconductores. La inversión de \$1.2 mil millones anunciada por Intel en 2023 para expandir sus operaciones en el país, junto con la designación de Costa Rica como socio estratégico bajo la Ley CHIPS de los Estados Unidos, destacan el compromiso nacional con esta industria. Además, el país ha recibido más de \$26.9 mil millones en inversión extranjera directa entre 2013 y 2022, consolidando su posición como líder regional en atracción de inversiones.

En 2024, el gobierno presentó la "Hoja de Ruta para el Fortalecimiento del Ecosistema de Semiconductores", estructurada en cinco pilares:

- Incentivos 2.0: Modernización del régimen de zonas francas y creación de nuevos estímulos para I+D y manufactura avanzada.
- Atracción de IED: Promoción activa de Costa Rica como destino para inversiones en semiconductores, con énfasis en diversificación y reinversión.
- Talento Humano: Programas de formación técnica y certificaciones profesionales en colaboración con universidades y el sector privado.
- Infraestructura y Clústeres: Desarrollo de parques tecnológicos y zonas económicas especiales para fomentar la innovación y la colaboración empresarial.
- Mejora Regulatoria: Simplificación de trámites y fortalecimiento del entorno legal para facilitar la inversión y operación de empresas del sector.

Costa Rica ha consolidado una estrategia robusta para la atracción de Inversión Extranjera Directa (IED) y el fomento de la diversificación productiva, destacándose por la modernización de su régimen de zonas francas y la implementación de "Incentivos 2.0" para estimular la investigación y desarrollo (I+D) y la manufactura avanzada. Esta iniciativa busca posicionar al país como un hub de valor agregado en la región, trascendiendo el modelo tradicional de manufactura de bajo costo.

El Régimen de Zonas Francas (RZF), regulado principalmente por la Ley N° 7210, ha sido un pilar fundamental en el desarrollo económico costarricense desde la década de 1980. Con el tiempo, ha evolucionado para adaptarse a las demandas del mercado global y a los objetivos de desarrollo nacional. La "modernización" de este régimen, que puede interpretarse como parte de los "Incentivos 2.0", implica una serie de adecuaciones para atraer inversiones más sofisticadas y de mayor valor añadido. Los esfuerzos de Costa Rica se han centrado en:

Diversificación sectorial: Inicialmente, las zonas francas se enfocaron en la manufactura. Sin embargo, la estrategia se ha ampliado para incluir una creciente participación del sector servicios, abarcando desde centros de servicios compartidos hasta empresas de biotecnología, inteligencia artificial y dispositivos médicos. Este último sector, en particular, ha experimentado un crecimiento notable, representando una parte significativa de las exportaciones del país.

Incentivos fiscales competitivos: El RZF ofrece una serie de exenciones y beneficios fiscales significativos para las empresas que se instalan bajo su amparo. Estos incluyen:

- Exención total o parcial del Impuesto sobre la Renta por períodos que varían según la ubicación y el tipo de inversión (por ejemplo, hasta 8 o 12 años con exención del 100%, seguido de periodos con tasas reducidas).
- Exención de tributos aduaneros sobre la importación de bienes y equipos necesarios para la operación.
- Exención de impuestos sobre remesas al extranjero.
- Exención de impuestos municipales y de traspaso de bienes inmuebles en algunos casos.

Atracción de I+D y manufactura avanzada: Para fomentar la llegada de empresas con operaciones de mayor valor agregado, Costa Rica ha ajustado su marco legal para beneficiar a proyectos que incorporen I+D y manufactura avanzada. Esto se refleja en criterios de inversión y empleo que, en algunos casos, priorizan la calidad sobre la cantidad, aunque manteniendo umbrales mínimos. Por ejemplo, se establecen inversiones mínimas en

activos fijos que pueden variar entre \$150,000 (dentro de parques industriales) y \$10,000,000 para "megaproyectos", con beneficios extendidos.

Promoción activa y alianzas público-privadas: La Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica (PROCOMER) desempeña un rol crucial en la administración del RZF y en la promoción de las exportaciones e IED. Trabaja en estrecha colaboración con la Coalición Costarricense de Iniciativas de Desarrollo (CINDE), una organización público-privada que ha sido fundamental en la atracción de empresas multinacionales de alto perfil. Esta sinergia es clave para mantener la relevancia y adaptabilidad del régimen.

Desarrollo del Talento Humano: Conscientes de que la manufactura avanzada y la I+D requieren mano de obra calificada, se han impulsado programas para mejorar el bilingüismo, habilidades blandas y técnicas, y se ha ampliado la oferta de especialidades técnicas en colegios profesionales.

Determinar una cifra exacta de la inversión total destinada específicamente a los "Incentivos 2.0" y a la modernización del régimen de zonas francas es complejo, ya que se trata de una estrategia integral que involucra múltiples facetas y flujos de inversión, tanto públicos como privados.

La "Hoja de Ruta para el Fortalecimiento del Ecosistema de Semiconductores en Costa Rica" establece la atracción de Inversión Extranjera Directa (IED) como un pilar fundamental para consolidar al país como un actor relevante en la cadena de valor global de esta industria estratégica. En este contexto, la promoción activa de Costa Rica como destino para inversiones en semiconductores se realiza con un énfasis particular en la diversificación de las operaciones y la reinversión de las empresas ya instaladas.

A continuación, se detallan las estrategias y acciones implementadas para lograr esta atracción de IED:

Diplomacia económica y posicionamiento estratégico global: El Gobierno de Costa Rica, a través del Ministerio de Comercio Exterior (COMEX) y sus embajadas, ha intensificado su labor de diplomacia económica para posicionar al país.

Designación como aliado estratégico bajo la Ley CHIPS de los Estados Unidos: En julio de 2023, Costa Rica fue la primera nación designada como aliada estratégica de Estados Unidos bajo la Ley de Chips y Ciencia (CHIPS Act). Esta designación es un respaldo significativo que genera confianza y visibilidad en la industria global de semiconductores. Ello abre puertas para posibles fondos y colaboración en investigación, desarrollo y manufactura. La Secretaría de Comercio de EE. UU. ha reconocido públicamente el rol de Costa Rica en la diversificación y resiliencia de la cadena de suministro de semiconductores.

Participación en foros y ferias internacionales: Las delegaciones costarricenses, lideradas por COMEX y PROCOMER (Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica), participan activamente en las ferias y cumbres más importantes de la industria de semiconductores, como SEMICON West en Estados Unidos, y eventos en Asia (Singapur) y Europa. En estos eventos, se presentan las ventajas competitivas de Costa Rica, se establecen contactos con empresas líderes y se exploran oportunidades de inversión.

Reuniones de alto nivel con empresas líderes: Se organizan reuniones directas con ejecutivos de empresas multinacionales clave en el sector de semiconductores. Por ejemplo, Costa Rica se ha reunido con la Semiconductor Industry Association (SIA) de Estados Unidos, que representa a fabricantes de semiconductores, proveedores y organizaciones de investigación, incluyendo a compañías como Intel, Texas Instruments y Micron Technology. Estos encuentros buscan presentar los esfuerzos de Costa Rica para fortalecer su ecosistema y explorar oportunidades de inversión.

Costa Rica no solo busca atraer manufactura, sino también operaciones de mayor valor agregado, lo que implica una promoción enfocada en la calidad y complejidad de los procesos.

Énfasis en diseño, I+D y “Packaging” avanzado: La estrategia de promoción resalta las capacidades existentes y potenciales de Costa Rica en áreas más allá del ensamblaje y prueba tradicionales. Se hace hincapié en el talento disponible para el diseño de semiconductores, el desarrollo de software asociado, la investigación y desarrollo (I+D), y el "packaging" avanzado. Empresas ya instaladas en el país, como Intel, que realizan parte de sus operaciones de diseño y pruebas, sirven como casos de éxito para atraer nuevas inversiones en estas áreas.

Promoción del talento humano calificado: Uno de los principales atractivos de Costa Rica es su capital humano. La promoción de IED subraya la disponibilidad de ingenieros y técnicos altamente capacitados, así como los programas de formación y capacitación que se están implementando para satisfacer las necesidades específicas de la industria de semiconductores. Se resalta la capacidad de los profesionales costarricenses para realizar tareas complejas y adaptarse a nuevas tecnologías.

Cadena de suministro robusta y resiliente: Se resalta la posición de Costa Rica como un socio confiable y resiliente en la cadena de suministro global. La proximidad a mercados clave, la infraestructura logística y la experiencia en el manejo de productos sensibles a la temperatura y la humedad son puntos clave que se enfatizan en la promoción.

Identificación de oportunidades de diversificación: PROCOMER y CINDE (Coalición Costarricense de Iniciativas de Desarrollo), como agencias de promoción de inversiones,

trabajan activamente en identificar oportunidades para que las empresas de semiconductores ya establecidas en el país diversifiquen sus operaciones, incorporando procesos de mayor valor agregado o expandiendo sus líneas de producción. Se busca que la inversión no se limite a la fase de ensamblaje y prueba, sino que abarque también diseño, investigación y desarrollo de nuevos productos.

Apoyo a la reinversión y expansión: Se brinda un acompañamiento constante a las empresas ya instaladas para facilitar sus procesos de reinversión y expansión. Esto incluye la simplificación de trámites, el acceso a información sobre incentivos adicionales y la coordinación con las instituciones pertinentes para resolver cualquier desafío operativo o logístico. La presencia de empresas como Intel, que han reinvertido significativamente en sus operaciones en Costa Rica a lo largo de décadas, es un ejemplo del éxito de esta estrategia.

Articulación con proveedores locales: Se busca fortalecer el encadenamiento productivo local para que las empresas de semiconductores encuentren en Costa Rica los proveedores y servicios necesarios. Esta iniciativa es parte de la diversificación, pues no solo se atrae IED, sino que se desarrollan capacidades locales que hacen el ecosistema más atractivo y competitivo, incentivando tanto la llegada de nuevas empresas como la reinversión de las existentes. Se recopila información sobre las necesidades de las empresas instaladas para alinear la oferta local.

Costa Rica ha reconocido que el desarrollo de un ecosistema de semiconductores robusto depende fundamentalmente de la disponibilidad de talento humano altamente calificado. Por ello, ha implementado una serie de acciones y planes estratégicos para fortalecer las capacidades de su fuerza laboral, con un enfoque particular en programas de formación técnica y certificaciones profesionales, en estrecha colaboración con universidades y el sector privado.

Las instituciones educativas y el gobierno han trabajado conjuntamente para crear currículos adaptados a las necesidades de la industria de semiconductores. Programas de Técnico Especializado en Semiconductores:

Se han involucrado universidades públicas como la Universidad de Costa Rica (UCR), el Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC), y el Centro Nacional de Alta Tecnología (CeNAT), junto con instituciones de formación profesional como el Instituto Nacional de Aprendizaje (INA). El diseño de estos programas es un esfuerzo colaborativo con empresas del sector privado (Intel, Teradyne, Sensata Technologies), que proveen insumos sobre las competencias técnicas y habilidades blandas requeridas. Los contenidos abordan desde los fundamentos de la electrónica y microelectrónica hasta procesos específicos de

manufactura, prueba, empaquetado y validación de semiconductores. Los programas técnicos suelen tener una duración de 1 a 2 años, equivalentes a 1.000 a 2.000 horas de formación, divididas entre teoría y práctica intensiva.

Las universidades ofrecen cursos de posgrado y especialización, mientras que el INA y otras entidades privadas proporcionan certificaciones específicas. La Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica (PROCOMER) y la Coalición Costarricense de Iniciativas de Desarrollo (CINDE) también juegan un rol clave en la identificación de necesidades y la articulación entre la oferta académica y la demanda empresarial.

El Ministerio de Ciencia, Innovación, Tecnología y Telecomunicaciones (MICITT), COMEX y CINDE actúan como catalizadores, facilitando la conexión entre las necesidades del sector privado y la capacidad de respuesta del sistema educativo. Han impulsado la creación de mesas de trabajo interinstitucionales para alinear la oferta y demanda de talento.

2.1.3.6 México en el horizonte de los semiconductores: Hacia una nueva era tecnológica

La industria de los semiconductores en México se encuentra en un punto de inflexión, impulsada por una conjunción de factores internos y dinámicas geopolíticas externas. Desde 2020, México ha experimentado un notable incremento de inversiones en el sector de semiconductores, impulsado por el auge del “nearshoring”, la reconfiguración de cadenas globales de suministro y urgencias estratégicas exhibidas en la pandemia y tensiones geopolíticas. Según un informe reciente, la desaceleración en Asia ha motivado a empresas como Intel, Foxconn, entre otras, a analizar la reubicación de la manufactura de sus productos hacia México. En 2023, México ocupó el puesto 17 en exportaciones globales de dispositivos semiconductores, con una participación del 0.8 % del mercado.

Entre 2020 y 2025, la llegada de inversión extranjera directa (IED) en sectores estratégicos —incluidos semiconductores— se benefició de múltiples incentivos fiscales: tratado de nearshoring de octubre de 2023 introdujo depreciación acelerada (hasta diciembre 2024) y deducción extra por capacitación (2023-2025). En enero de 2025, el gobierno presentó el Plan México, que prioriza semiconductores como sector estratégico, con un decreto presidencial para incentivos fiscales (deducción por equipo de manufactura/ensamble/transformación, formación científica y técnica). Estos incentivos fueron reforzados por la actualización del programa IMMEX (maquiladoras) y la ayuda de ProMéxico, facilitando desde 2020 patrones administrativos más ágiles, libre de aranceles temporales, útiles para IED centrada en exportación. Como complemento, el Proyecto Kutsari (2025) potencia el diseño local de semiconductores mediante la creación de centros de I+D con instituciones como INAOE, CINVESTAV, UNAM e IPN, además de alertar sobre reformas para acelerar patentes en este campo.

A nivel geográfico, el Plan México especifica hubs semiconductores en Nuevo Laredo (Tamaulipas), Sonora, Lázaro Cárdenas (Michoacán), Jalisco y Chihuahua, estados que ha consolidado la presencia en la manufactura avanzada, logística y componentes electrónicos. Respecto a productos, México ensambla semiconductores integrados en automóviles, tarjetas electrónicas, discos duros, computadoras, servidores y componentes de telecomunicaciones. Ejemplo: NXP/Freescale opera en Guadalajara desde 2002, especializada en semiconductores para automotriz, IoT y seguridad. A su vez, plantas regionales como Silicon Border en Mexicali ofrecen infraestructura para fábricas de semiconductores con soporte logístico, agua e instalaciones de alta calidad. En Chihuahua, particularmente, se realizan pruebas y validaciones de chips automotrices, diseño de placas electrónicas y empaquetado especializado, lo cual complementa las capacidades de otros estados y fortalece la posición de México como destino integral para actividades ATP (ensamble, test y empaque) dentro de la industria global de semiconductores. La producción de obleas y front-end (etching/litografía) aún es limitada: México depende de importaciones de más de US\$ 20 mil millones anuales en diversos segmentos, por lo que la estrategia gubernamental busca reducir esta dependencia.

En cuanto al diseño, el impulso Kutsari (2025) marca el primer esfuerzo sistemático para cultivar talento y tecnología local. Las instituciones mencionadas reciben financiamiento para desarrollar I+D en circuitos integrados, protección de propiedad intelectual ágil y conexión con industria manufacturera. Aunque aún incipiente, esta tendencia ha permitido a México salir de un rol exclusivamente OEM y avanzar lentamente hacia el diseño de chips específicos para automotriz, telecomunicaciones o el IoT.

El ecosistema educativo mexicano aporta decenas de miles de ingenieros electrónicos al año, gran parte de ellos formados en posgrados y especializaciones en microelectrónica, nanotecnología o empaquetado avanzado. Esto significa que ya existe capacidad local para desarrollo de software de diseño, pruebas de fiabilidad y certificación técnica.

En resumen, desde 2020 México ha capitalizado el “nearshoring” global: ha atraído cientos de millones en inversión extranjera, implementado incentivos fiscales atractivos (depreciaciones, deducción por capacitación, zonas de inversión estratégicas), y ha desarrollado capacidades robustas en ensamblaje, testeo y empaquetado en regiones clave. Se están creando las bases para producción local de obleas y diseño propio mediante el proyecto Kutsari y alianzas académicas. A corto plazo (2025-2030), las prioridades incluyen: construcción de infraestructura “front-end”, fortalecimiento de hubs regionales, ampliación de incentivos IMMEX/IMMEX 4.0, y consolidación de centros nacionales de diseño.

La Figura 8 muestra la localización de la industria de semiconductores en México, en donde se puede observar una presencia amplia de la academia, red de cuartos limpios, diseño y manufactura. La presencia de esta industria indiscutiblemente se observa en el norte del país con Baja California, Chihuahua, Nuevo León y Tamaulipas, así como una amplia presencia en Jalisco, quien tradicionalmente ha tenido históricamente el desarrollo del diseño en México, y en la zona centro en donde existen amplios esfuerzos de centros de investigación, universidades y redes de colaboración académicas en Centros auspiciados por el antiguo Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

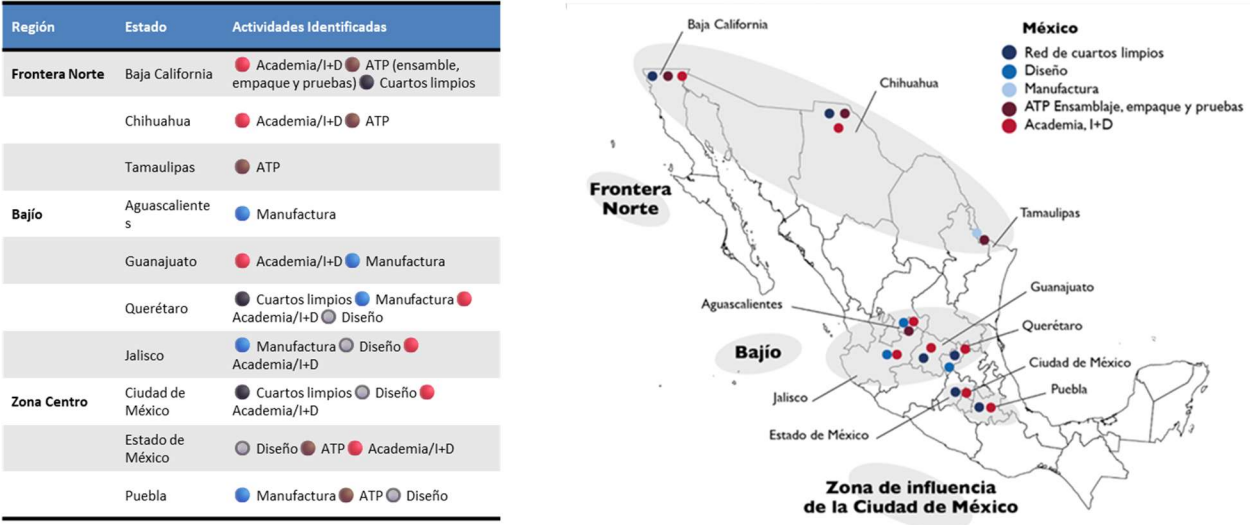


Figura 8 Ecosistemas de la industria de semiconductores en México.

2.1.3.6.1 El Plan México y su impacto en la industria de los semiconductores

El “Plan México” es una estrategia nacional impulsada por el gobierno federal para posicionar a México como un actor clave en la cadena global de suministro de semiconductores, una industria estratégica para la seguridad tecnológica, el desarrollo económico y la soberanía digital. Ante la creciente demanda global y las tensiones geopolíticas que han afectado la producción de chips, México busca aprovechar su ubicación geográfica, su red de tratados comerciales —particularmente el T-MEC— y su creciente ecosistema de manufactura avanzada para integrarse de manera decisiva en esta industria crítica.

El plan contempla la creación de polos de desarrollo regionales, diseñados para albergar clústeres tecnológicos y centros de innovación enfocados en el diseño, ensamblaje, prueba y empaque (ATP, por sus siglas en inglés) de semiconductores. Entre los estados estratégicos se encuentran Jalisco, Nuevo León, Baja California y Chihuahua, donde ya

existe una base industrial consolidada en electrónica y manufactura avanzada. También se proyectan polos en el sur-sureste del país, como parte de una estrategia de desarrollo regional incluyente.

Uno de los ejes fundamentales del Plan México es la formación de capital humano especializado, en colaboración con universidades, centros de investigación y empresas del sector. Esto incluye programas de capacitación técnica, ingeniería en microelectrónica y alianzas internacionales para el desarrollo de talento. El objetivo es atender la escasez de profesionales capacitados que enfrenta la industria global de chips.

En cuanto a infraestructura, el plan considera inversiones en parques tecnológicos, laboratorios de pruebas, líneas piloto y nodos logísticos para asegurar condiciones competitivas y atraer inversión extranjera directa (IED). Ya se han anunciado alianzas con empresas multinacionales, especialmente estadounidenses, interesadas en diversificar su producción fuera de Asia, como parte de las estrategias de nearshoring.

El impacto esperado del Plan México en la industria de semiconductores es amplio: atraer inversiones por miles de millones de dólares, generar empleos de alto valor, fortalecer la soberanía tecnológica del país y convertir a México en un eslabón confiable y estratégico de la cadena global de suministro de chips. Si se ejecuta con visión de largo plazo, el plan podría transformar el perfil tecnológico e industrial del país en las próximas décadas.

Dentro del plan, los semiconductores se reconocen como un sector prioritario para la soberanía tecnológica. Las acciones incluyen:

- Aterrizaje de proyectos de inversión para plantas ATP (ensamble, prueba y empaque) y fabricación de chips para IA (en Jalisco).
- Implementación de IMMEX 4.0, un nuevo marco para manufactura de exportación que simplifica trámites.
- Colaboración con EE.UU. en el marco del Semiconductor Alliance México y el Fondo Internacional de Innovación Tecnológica y Seguridad (ITSI Fund).
- Formación de talento en ingeniería electrónica, mecatrónica, telecomunicaciones, manufactura avanzada y ciberseguridad, mediante universidades técnicas y centros tecnológicos.
- Infraestructura digital y energética garantizada, operaciones aduaneras 24/7 y armonización normativa con Norteamérica.

2.1.3.6.2 Planes del desarrollo orientados a la industria de semiconductores

2.1.3.6.2.1 Polo del desarrollo San Jerónimo, Juárez, Chihuahua

El Polo de Desarrollo San Jerónimo, ubicado en el municipio de Ciudad Juárez, Chihuahua, es una de las iniciativas más relevantes dentro del Plan México, orientado a consolidar zonas estratégicas para el crecimiento económico regional y la atracción de inversión en sectores de alta tecnología. Este polo, el primero en la Frontera Norte, se desarrolla sobre una superficie de más de 60 hectáreas de terreno estatal, lo que permite garantizar certeza jurídica a inversionistas nacionales e internacionales y acelerar los procesos de instalación industrial.

Su localización geográfica le otorga una ventaja competitiva clave. Colinda con el puerto fronterizo de San Jerónimo–Santa Teresa, uno de los cruces binacionales con mayor potencial de expansión logística entre México y Estados Unidos. Además, tiene acceso directo a la carretera federal 2 y a vías ferroviarias conectadas con el mercado norteamericano. Esta infraestructura facilita el flujo eficiente de mercancías, insumos y componentes, haciendo de San Jerónimo un punto estratégico para el comercio exterior y el “nearshoring”, particularmente en el contexto de reconfiguración de cadenas globales.

El polo fue concebido para albergar industrias de manufactura avanzada, con especial atención al sector de los semiconductores. En este sentido, San Jerónimo forma parte de la ruta tecnológica que une a Phoenix, El Paso y Austin, centros reconocidos por su actividad en diseño, ensamblaje y prueba de chips. La intención es que el polo funcione como una extensión de esta red de valor, con capacidad para integrar procesos como el empaquetado avanzado (ATP), el desarrollo de sensores, dispositivos médicos y, en un futuro, componentes para electromovilidad.

El Gobierno Federal y el Gobierno de Chihuahua han trabajado en conjunto para habilitar el terreno, establecer esquemas fiscales competitivos y articular la infraestructura básica que permita recibir a las primeras empresas ancla. Se contemplan estímulos como deducciones fiscales, facilitación de trámites mediante ventanillas únicas digitales y condiciones preferenciales para proyectos que contribuyan al desarrollo de proveeduría nacional. Además, se ha puesto énfasis en la formación de talento técnico y profesional en áreas STEM, en alianza con universidades locales e internacionales, con el objetivo de garantizar disponibilidad de capital humano capacitado para las industrias que se instalarán.

Se espera que el Polo San Jerónimo detone una transformación estructural en la región fronteriza, generando empleos bien remunerados, atrayendo inversión extranjera directa y elevando la competitividad industrial de México. En particular, su consolidación como

punto clave en la cadena de suministro de semiconductores podría posicionar al país como un socio estratégico en una de las industrias más críticas del siglo XXI, al tiempo que impulsa la integración económica con América del Norte y fortalece la soberanía tecnológica nacional.

2.1.3.6.2.2 Plan estatal de semiconductores de Baja California

El Plan Estatal de Semiconductores de Baja California surge como una respuesta estratégica al crecimiento exponencial de la industria global de chips, con miras a consolidar al estado como un centro clave en la cadena de producción norteamericana. Aprovechando su ubicación geográfica privilegiada, su proximidad a Estados Unidos y su sólida infraestructura manufacturera, la estrategia estatal busca atraer inversión internacional en fases cruciales como ensamblaje, empaque y prueba de semiconductores

Los esfuerzos del estado se han enfocado en establecer un ecosistema robusto que combina incentivos institucionales, formación de capital humano y colaboración público-privada. Se promovieron alianzas con universidades como CETYS y la UABC, en conjunto con organizaciones internacionales a través del programa Talento BC, que graduó a docentes en especialización en semiconductores en colaboración con la Arizona State University y la Iberoamerican Technology Foundation.

Mediante foros binacionales, Baja California reafirma su papel como núcleo industrial en el corredor Cali-Baja, consolidando vínculos con Arizona y promoviendo la integración de su fuerza laboral al mercado chip global. El estado alberga ya a líderes como Skyworks, Infineon y Qualcomm, lo que proporciona una base sólida para expandir el ecosistema de semiconductores.

La estrategia incluye la elaboración de una hoja de ruta, coordinada con FUMEC y USAID, para identificar capacidades existentes en empresas locales y las brechas de talento, así como para generar políticas públicas efectivas que impulsen inversión y transferencia tecnológica. Esto se traduce en un enfoque integral que combina desarrollo económico, innovación y seguridad tecnológica.

El impacto que se espera es significativo: consolidar a Baja California como parte esencial de la cadena de valor semiconductora en Norteamérica, generar miles de empleos cualificados, atraer recursos de capital y disminuir la dependencia global en sectores estratégicos. A mediano plazo, la meta estatal es diversificar la producción hacia fases de mayor valor agregado, posicionándose no solo como ensamblador, sino como un actor con capacidad para ofrecer soluciones avanzadas en diseño y manufactura de semiconductores.

En resumen, el Plan Estatal de Semiconductores de Baja California representa un esfuerzo consistente y multifacético que combina infraestructura, talento, tecnología, coordinación institucional y apertura internacional. Su implementación busca transformar el perfil industrial del estado, integrándolo de lleno al desarrollo tecnológico global y elevando su competitividad en uno de los sectores clave del siglo XXI.

2.1.3.6.2.3 Jalisco “Tech Hub Act”

La iniciativa Jal Tech Hub Act representa una estrategia integral del gobierno de Jalisco para posicionar al estado como un nodo clave en el ecosistema global de innovación y tecnología avanzada, particularmente en sectores estratégicos como los semiconductores, la inteligencia artificial, la robótica y las industrias 4.0. Esta política pública, lanzada formalmente en 2024, responde a la necesidad de acelerar la transformación digital del aparato productivo local y aprovechar las oportunidades derivadas del nearshoring y la reconfiguración de cadenas de suministro globales.

El enfoque del Jal Tech Hub Act es territorial y multisectorial. Se sustenta en el fortalecimiento de infraestructura tecnológica, la atracción de inversiones de alto valor agregado y la formación de talento especializado. Uno de sus pilares ha sido la consolidación de parques tecnológicos y centros de innovación conectados con universidades, centros de investigación y empresas. Estos espacios no solo facilitan el desarrollo de proyectos de diseño, prueba y empaquetado de semiconductores, sino que también actúan como plataformas de colaboración entre el sector público, el privado y la academia.

La iniciativa ha priorizado además la creación de condiciones normativas y fiscales que incentiven la inversión en tecnologías emergentes. Mediante esquemas de deducción acelerada, apoyos a la capacitación especializada y mecanismos de financiamiento para pequeñas y medianas empresas tecnológicas, Jalisco busca construir un entorno competitivo para la industria de alta tecnología. Esta política se articula estrechamente con el Plan México y con la estrategia federal Kutsari para el desarrollo del ecosistema nacional de semiconductores, aprovechando la posición que ya ocupa el estado como centro neurálgico de este sector en el país.

En el ámbito de capital humano, el Jal Tech Hub Act ha impulsado programas para alinear la oferta educativa con las demandas del sector tecnológico. Esto incluye la expansión de programas de ingeniería y posgrado en microelectrónica, sistemas embebidos y automatización, así como acuerdos con instituciones internacionales para la formación de docentes y el intercambio de investigadores. El propósito es garantizar una base sólida de talento capaz de sostener el crecimiento de industrias tecnológicamente intensivas en el largo plazo.

El impacto esperado de esta iniciativa es profundo. Se prevé un incremento sostenido en la inversión extranjera directa, la generación de empleos de alta calificación y el fortalecimiento de la innovación local. A través del Jal TechH Hub Act, Jalisco busca no solo consolidar su liderazgo nacional en tecnología, sino también insertarse con mayor fuerza en las cadenas de valor internacionales, convirtiéndose en un socio estratégico para América del Norte en el desarrollo de soluciones tecnológicas de vanguardia.

3.- Diagnóstico y capacidades actuales

México se encuentra en una etapa emergente dentro del ecosistema global de semiconductores, particularmente en el eslabón de ensamblaje, prueba y empaque (ATP), el cual representa un área de oportunidad estratégica por ser intensiva en manufactura, logística y talento técnico. Aunque el país no cuenta aún con plantas OSAT de gran escala como las presentes en Asia, sí posee condiciones geográficas, industriales y políticas propicias para el desarrollo de este segmento.

Baja California, especialmente Tijuana, alberga una robusta industria electrónica con experiencia en manufactura de dispositivos médicos, automatización y componentes electrónicos. Su cercanía con San Diego, California —donde operan importantes centros de diseño de semiconductores como Qualcomm— le otorga una ventaja competitiva para integrarse como nodo de prueba y empaque, y facilita el traslado rápido de productos hacia Estados Unidos.

Jalisco, y en particular Guadalajara, es el hub más consolidado del país en cuanto a manufactura avanzada y diseño de hardware. La presencia de empresas como Intel, Jabil, Flex y HP ha generado una cadena de valor local robusta. Jalisco lidera los esfuerzos en diseño de circuitos y tiene las condiciones para escalar hacia operaciones ATP, gracias a su talento técnico, infraestructura y vinculación académica.

Chihuahua, con énfasis en Ciudad Juárez, ha sido tradicionalmente un bastión de la manufactura electrónica orientada a exportación. La región cuenta con una red logística eficiente, una base industrial sólida y una política estatal alineada con el desarrollo de semiconductores. Proyectos recientes para desarrollar un centro OSAT piloto en esta zona refuerzan su posicionamiento como nueva frontera tecnológica en América del Norte.

Otras regiones como el Istmo de Tehuantepec y Nuevo León muestran potencial para el desarrollo de operaciones OSAT en el mediano plazo, gracias a su infraestructura en desarrollo, incentivos gubernamentales y creciente interés por el nearshoring

La Tabla 1 presenta un análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA) que tiene México con respecto al sector de los semiconductores. En este análisis se puede observar claramente que las fortalezas se encuentran en su cercanía a los grandes mercados, sus tratados comerciales, su base manufacturera establecida, cierta experiencia en el sector y los apoyos e iniciativas gubernamentales que se están desarrollando para lograr impulsar y consolidar esta industria. Las debilidades que tiene el país son la falta de experiencia en operaciones de ensamble, empaquetamiento y prueba de semiconductores en gran escala (OSAT), la falta de experiencia en microelectrónica y semiconductores como país, sistema educativo e investigación y desarrollo, lo que deja

expuesta las grandes posibilidades de insertarse en el mercado a que este continúe en el sureste asiático en donde se encuentra grandemente consolidado. México tiene grandes oportunidades logrando generar programas especializados de formación técnica y profesional en el área, alineando las coyunturas geoestratégicas y comerciales que están ocurriendo y que probablemente seguirán ocurriendo. Eso sí, es importante no solo desarrollar estrategias OSAT sino también estrategias especializadas comenzando con la producción de componentes legacy.

Tabla 1 Análisis de la situación de la industria de semiconductores en México.

Fortalezas	Oportunidades
• Proximidad geográfica con EE.UU. y Canadá • Red amplia de tratados comerciales (T-MEC, CPTPP, UE) • Base industrial consolidada en manufactura electrónica • Crecimiento en centros de diseño de hardware (ej. Jalisco) • Iniciativas federales como el Plan México y Kutsari	• Tendencia global de nearshoring de semiconductores • Demanda creciente de chips por digitalización e IA • Programas de formación técnica especializada en microelectrónica • Interés de empresas globales por diversificar fuera de Asia • Alineación con políticas industriales de EE.UU. vía CHIPS Act
Debilidades	Amenazas
• Falta de plantas OSAT a gran escala • Escasa inversión en I+D nacional • Limitado número de ingenieros en microelectrónica • Baja producción local de materiales semiconductores • Falta de coordinación intersectorial público-privada	• Competencia fuerte de Asia (Taiwán, Corea, Malasia, Vietnam) • Inestabilidad regulatoria o fiscal • Retos en seguridad energética e hídrica • Desigualdad regional en infraestructura industrial • Tensiones geopolíticas que afectan flujos de inversión

La Figura 9 muestra el segmento de mercado en los que México puede incursionar en diseño y manufactura de semiconductores. De acuerdo con reportes públicos del proyecto Kutsari, en el país se puede hacer diseño de semiconductores en todo el rango de tecnologías incluyendo las de alto rendimiento con tamaños menores a 28 nm. Con respecto a la fabricación se tiene como objetivo 2029 para poder incursionar en la fabricación de semiconductores tradicionales, mayores a 28 nm, que representan hoy en día un consumo mercado de 36,000 millones de dólares en 2024.



Año	Tamaño de Nodo (nm)	Costo (USD/mm²)	Segmento	Tipo de Tecnología	Productos ejemplo
1990	600		Tradicional	Analógico/Digital	Auto, electrodomésticos Microcontroladores Ventiladores, refrigeración Sensores Equipos domésticos Comunicaciones
1993	350		Tradicional	Analógico/Digital	
1996	250		Tradicional	Analógico/Digital	
1999	180	1,250	Tradicional	Analógico/Digital	
2001	130		Tradicional	Analógico/Digital	
2003	90		Tradicional	Analógico/Digital	
2005	65	5,800	Transición	Digital	PC, smartphones Microprocesadores Imagen 2D Memoria
2007	45		Transición	Digital	
2009	32	13,800	Alto rendimiento	Digital	
2012	28		Alto rendimiento	Digital	
2014	20		Alto rendimiento	Digital	
2016	16		Alto rendimiento	Digital	
2024	12		Alto rendimiento	Digital	

Figura 9 Segmentos de mercado de semiconductores y la posición de México con el programa Kutsari.

3.2 Chihuahua y sus capacidades existentes

Chihuahua cuenta con una infraestructura industrial consolidada, heredera de décadas de experiencia en el sector maquilador en Ciudad Juárez y en la capital del estado. Este historial ha sentado las bases de un ecosistema robusto, con parques industriales equipados para manufactura electrónica de alta precisión, redes logísticas eficientes y vocación

exportadora: el estado concentra más del 37 % de las exportaciones electrónicas del país. Esa plataforma facilita ahora la transición hacia operaciones OSAT, gracias a su capacidad para albergar líneas SMT, salas limpias y centros de prueba especializados.

En términos de capital humano, Chihuahua presenta una oferta educativa sólida a nivel técnico y universitario. En Ciudad Juárez, la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, el Instituto Tecnológico de Cd. Juárez y la Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, entre otras, imparten ingenierías y posgrados en electrónica, mecatrónica, materiales, manufactura y otras pertinentes, con infraestructura tecnológica avanzada, laboratorios y actualización continua. Por su parte, la capital cuenta con la Universidad Autónoma de Chihuahua, el Instituto Tecnológico, la Universidad Tecnológica y la Politécnica, que forman técnicos superiores e ingenieros competentes en manufactura y automatización. Además, el sistema del Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica (CONALEP) ha firmado convenios con actores del sector electrónico como Foxconn para formar a más de 5 000 estudiantes en semiconductores y electromovilidad. El Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV), con sede en Chihuahua, ofrece capacidades únicas en nanotecnología e investigación de materiales. Sus laboratorios, equipados con infraestructura para investigación aplicada, representan un catalizador esencial para el diseño de procesos OSAT y la certificación de calidad en la producción de semiconductores.

En materia de innovación, Ciudad Juárez alberga el “Technology Hub”, un espacio binacional incubador de startups tecnológicas que promueve la innovación en manufactura 4.0. Este centro funge como puente entre la academia, la industria maquiladora y el desarrollo de nuevos modelos de negocio que incorporan automatización, IoT, inteligencia artificial y diseño de hardware.

El ámbito gubernamental ha fortalecido este ecosistema con programas específicos. A finales de 2024 y principios de 2025, Chihuahua se integró a la “Ruta del Semiconductor”, visitando Taiwán y consolidando acuerdos con la industria asiática. Se destacan las inversiones proyectadas por Pegatron —500 millones USD y 5 000 empleos en Juárez—, y por Foxconn —825 millones USD y 6 000 empleos en la capital. Además, se lanzó un diplomado internacional en semiconductores, coordinado por CIMAV y SIDE Chihuahua, que combina formación teórica local con prácticas en Texas, y existe un programa para capacitar a estudiantes universitarios y docentes en diseño y manufactura de semiconductores a través del programa Emtech y el Gobierno del Estado de Chihuahua.

De forma complementaria, Chihuahua organizó el primer “Foro de Colaboración Semiconductores México-EUA” en Ciudad Juárez (octubre 2024), en colaboración con CANIETI y la Embajada de EE.UU. Durante este foro se presentó el “Plan Maestro para Semiconductores 2024-2030”, cuyo objetivo es duplicar la capacidad del sector

semiconductores en México. La gobernadora destacó la importancia de articular empresas, proveedores y talento local.

Las ventajas competitivas de la región son múltiples y se refuerzan entre sí. Primero, su posición fronteriza permite canales logísticos optimizados –autopistas, almacenes, aduanas y enlaces ferroviarios–, que reducen tiempo y costos hacia el mercado estadounidense. Segundo, la estructura maquiladora existente proporciona agilidad operativa, madurez en procesos de exportación y disponibilidad de terrenos industriales listos para equipar. Tercero, el respaldo educativo vinculado con la industria garantiza talento técnico y capacidades adaptables a necesidades emergentes. Cuarto, la investigación local y los intercambios académicos internacionales proveen know-how para tecnologías limpias, control de calidad y trazabilidad del ensamblaje de chips. Quinto, la articulación pública-privada ha generado incentivos fiscales, diplomacia tecnológica y credibilidad hacia inversionistas globales.

Este ecosistema, presentado en la Figura 10, permite que Chihuahua no solo llegue a producir componentes semiconductores, sino que también lidere un modelo OSAT de punta, combinando manufactura física con diseño, pruebas electrónicas y certificación. La atracción de inversión internacional, la existencia de infraestructura técnica (salas limpias, líneas SMT) y el talento en preparación crean condiciones propicias para la instalación de plantas OSAT que requieren alta confiabilidad.

En términos de impacto, el fortalecimiento de este ecosistema busca consolidar una derrama económica significativa, impulsada por capital extranjero, generación de miles de empleos especializados y la creación de un clúster regional de semiconductores. Más allá de producir chips, Chihuahua busca construir capacidades locales que integren diseño, innovación y exportación con estándares globales, posicionándose como parte clave de la cadena de suministro en América del Norte. Esta estrategia brinda a México mayor autonomía tecnológica y eleva el nivel productivo de la economía regional.

En resumen, Chihuahua —anclado por la tradición maquiladora, respaldado por un sistema educativo técnico-científico, articulado por instituciones de innovación y potenciado por iniciativas gubernamentales y diplomáticas— presenta un ecosistema robusto para el desarrollo de operaciones OSAT y la consolidación de una industria regional de semiconductores con proyección global.

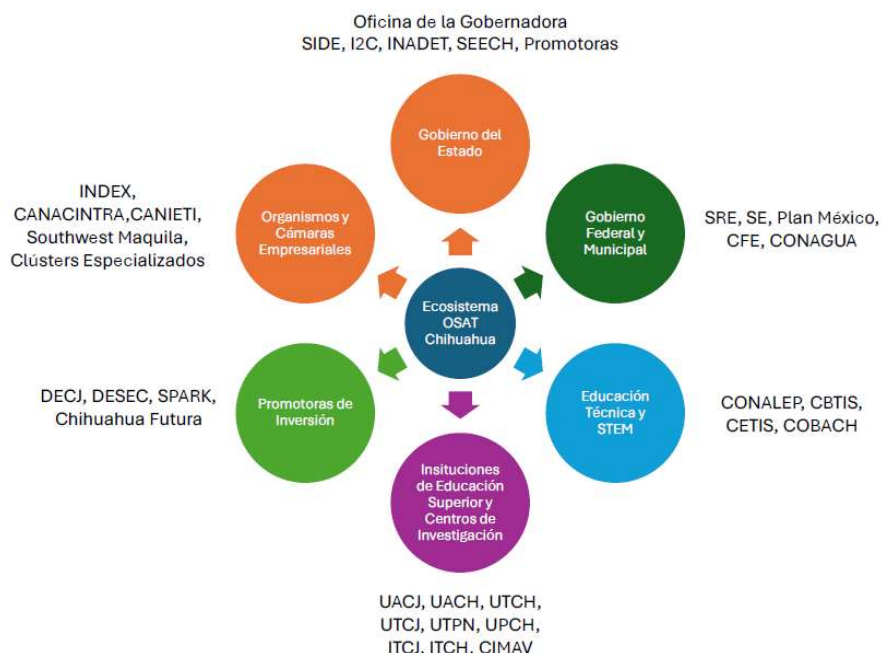


Figura 10 Ecosistema OSAT ya establecido en Chihuahua.

La Tabla 2 resume las principales capacidades del capital humano disponible en el estado de Chihuahua, relevantes para el desarrollo de actividades de ensamblaje, prueba y empaque (OSAT/ATP) en la industria de semiconductores.

El dato estimado de más de 30,000 operadores con habilidades en ensamble y prueba en el estado se construyó a partir de un análisis inferencial basado en datos disponibles sobre empleo en manufactura electrónica, estructura industrial del estado y naturaleza de los procesos OSAT.

Según el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en 2023, sobre la cadena de valor de semiconductores en América Latina, Chihuahua tiene aproximadamente 91,300 empleos vinculados al sector de componentes electrónicos. Estos empleos están concentrados en actividades de manufactura, ensamble de tarjetas electrónicas, SMT (montaje superficial) y pruebas funcionales en sectores como el automotriz, médico y electrónico de consumo.

Las empresas maquiladoras en Chihuahua —especialmente en Ciudad Juárez— siguen un modelo intensivo en capital humano técnico-operativo. En una planta tipo de manufactura electrónica avanzada (EMS), típicamente entre el 25 % y 40 % del personal está asignado a actividades directamente relacionadas con ensamble y prueba de productos electrónicos.

Aplicando un promedio conservador del 35 % sobre los 91,300 empleos electrónicos reportados, se obtiene una cifra de aproximadamente 32,000 trabajadores con experiencia

directa en tareas comparables a las requeridas por operaciones OSAT: soldadura, inspección óptica, prueba eléctrica, verificación funcional y empaque de componentes.

Los procesos OSAT (Assemble, Test and Package) y los que se realizan en manufactura electrónica de exportación (como SMT, test funcional, e inspección automatizada) comparten habilidades técnicas: trabajo en sala limpia o semi-limpia, manipulación de microcomponentes, operación de maquinaria de prueba, interpretación de diagramas electrónicos, y cumplimiento de estándares de calidad ISO/IPC.

Tabla 2 Análisis de la fuerza laboral en el estado de Chihuahua con orientación en semiconductores.

Categoría	Descripción	Cantidad Estimada	Fuente/Observaciones
Fuerza laboral activa	Población ocupada en el estado de Chihuahua	1.81 millones	INEGI / DataMéxico
Trabajadores en manufactura electrónica	Personal con experiencia en líneas SMT y electrónica	91,300	IDB Semiconductor Report (2023)
Técnicos e ingenieros STEM	Graduados en ingeniería, mecatrónica, electrónica	13,000+/año	DataMéxico / Tecnológicos Estatales
Técnicos capacitados CONALEP	Formados en automatización, microelectrónica	5,000+	CONALEP – Foxconn Program
Especialistas entrenados en semiconductores	Participantes de diplomados, intercambios o bootcamps	500+	SIDE / CIMAV / Programas binacionales
Operadores con experiencia OSAT	Mano de obra con habilidades en ensamble y prueba	Estimada en 30,000+	Sector industrial / estimación basada en inferencias de la industria maquiladora

3.2.1 Evaluación de actores educativos y de investigación clave

Las fortalezas que se han detectado en diversas zonas en donde se han desarrollado programas de desarrollo para la industria OSAT contienen un componente educativo y de investigación fuerte y con alta sinergia con los esfuerzos industriales y gubernamentales para incrementar el potencial de atracción de inversiones. En la Tabla 3 se presentan los actores educativos y de investigación evaluados en el estado de Chihuahua para determinar la capacidad institucional para apoyar los esfuerzos OSAT en la región.

Tabla 3 Instituciones de educación superior y centros de investigación evaluados.

Nombre	Categoría/Tipo de financiamiento
Universidad Autónoma de Chihuahua	UPES/Pública
Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez	ITNM/Público
Instituto Tecnológico de Chihuahua	ITNM/Público
Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez	UT/Pública
Universidad Tecnológica Paso del Norte	UT/Pública
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez	UPES/Pública
Instituto Tecnológico de Monterrey Campus Cd. Juárez	IES/Privada
Centro de Investigación en Materiales Avanzados	Centro de Investigación Federal/Público

Los resultados de la evaluación de las instituciones se resumen en la Tabla 4 en donde se puede ver que el estado de Chihuahua ha logrado avances significativos en la consolidación de su ecosistema educativo en el ámbito de los semiconductores. Una revisión integral de las instituciones participantes muestra que el 62.5% cuenta con líneas estratégicas o programas enfocados en semiconductores, de los cuales el 25% están completamente consolidados y transversales. Esta orientación estratégica constituye una base sólida para el desarrollo futuro del sector.

En términos de integración nacional e internacional, el 62.5% de las instituciones participa activamente en redes y consorcios, con un 25% liderando o desempeñando roles relevantes. Esta vinculación externa potencia la visibilidad del estado y abre oportunidades de colaboración tecnológica y científica.

Desde el punto de vista financiero, aunque solo el 25% de las instituciones dispone de un presupuesto consolidado y prioritario para semiconductores, un 87.5% tiene algún tipo de presupuesto anual definido, lo cual sugiere una base sobre la cual puede construirse una mayor inversión estratégica.

En cuanto a la formación de recursos humanos, el 62.5% de las instituciones tiene entre 6 y 10 profesores especializados, y el 12.5% supera los 10, lo que demuestra una capacidad docente adecuada, aunque aún susceptible de ampliación. En términos de egresados, el 50% de las instituciones forma más de 30 personas anualmente con el perfil adecuado, si bien aún un 37.5% forma menos de 10, lo que limita la masa crítica profesional disponible.

La experiencia institucional es otro punto fuerte: el 50% de las instituciones está consolidado en el desarrollo de proyectos en el área, y otro 37.5% tiene experiencia

intermedia. Esto se ve respaldado por una infraestructura física sólida, ya que el 87.5% cuenta con al menos tres laboratorios aplicables a semiconductores, aunque solo el 12.5% dispone de cinco. En cuanto al equipo especializado para I+D, el 75% tiene acceso suficiente o amplio, lo cual es crucial para la investigación de frontera.

Un indicador de madurez importante es la existencia de publicaciones científicas, patentes o desarrollos tecnológicos. Aunque solo el 25% de las instituciones cuenta con más de 30 productos, otro 50% cuenta con entre 5 y 30 productos, lo que evidencia una producción científica activa pero aún con margen para crecimiento. En paralelo, el 87.5% de las instituciones está implementando o desarrollando programas académicos específicos en semiconductores, lo que representa un esfuerzo claro por adaptar la oferta educativa a las nuevas demandas del sector.

Como resumen del ecosistema educativo del estado de Chihuahua se puede apreciar una estructura institucional robusta y consolidada, con una clara orientación hacia el desarrollo de capacidades en semiconductores. La existencia de infraestructura física, personal docente capacitado, experiencia en proyectos y vinculación con redes externas refuerzan su posicionamiento estratégico. Sin embargo, la falta de presupuestos consolidados y la limitada formación de nuevos especialistas en algunas instituciones restringen el impacto a mayor escala.

Con respecto al grado de madurez de la oferta educativa, aunque la mayoría de las instituciones están desarrollando o implementando programas, la consolidación académica plena aún está en proceso, se encuentra en un estado intermedio. La disparidad en la formación anual de talento humano y la limitada producción científica en algunas instituciones muestran que el sistema aún no ha alcanzado una madurez completa, pero se encuentra en un proceso activo de crecimiento.

El análisis del sistema educativo permite presentar las fortalezas y oportunidades del sistema en la Tabla 5.

Tabla 4 Matriz de capacidades académicas e infraestructura de las instituciones de educación superior y centros de investigación en el estado de Chihuahua.

Parámetro	Grado de consolidación
Existencia de líneas o programas estratégicos sobre semiconductores en la institución.	El 25% de las instituciones cuentan con estrategias consolidadas y transversales.
	El 62.5% de las instituciones cuentan con líneas estratégicas y/o programas estratégicos alineados con semiconductores.
	El 12.5% de las instituciones cuenta con proyectos en marcha, pero sin estrategia definida.
La institución en redes nacionales/internacionales en semiconductores.	El 25% lidera y/o participa en redes nacionales o internacionales relacionadas a semiconductores.
	El 37.5% de las instituciones participa activamente en múltiples redes y contribuye a estas.
	37.5% de las instituciones participa en alguna red o consorcio.
La institución cuenta con un presupuesto asignado a proyectos de semiconductores.	El 25% de las instituciones cuenta con un presupuesto consolidado, con crecimiento y prioridad institucional.
	El 25% de las instituciones tiene un presupuesto regular y con rubros definidos.
	El 37.5% de las instituciones cuenta con presupuesto anual específico, pero limitado.
	El 12.5% de las instituciones no asigna un presupuesto a este rubro.
Recursos humanos con formación en semiconductores o en áreas relacionadas tiene su institución actualmente.	El 12.5% tiene mas de 10 profesores con formación en semiconductores.
	El 62.5% de las instituciones cuenta entre 6 y 10 profesores con formación en semiconductores.
	El 25% de las instituciones cuenta con un máximo de 5 profesores formados en semiconductores.
Experiencia institucional en el desarrollo de proyectos en el área de semiconductores.	El 50% de las instituciones esta consolidada en el desarrollo de proyectos en el área.
	El 37.5% de las instituciones cuenta con una experiencia intermedia en el desarrollo de proyectos en el área.
	El 12.5% de las instituciones no cuenta con experiencia en el desarrollo de proyectos en el área.
	El 12.5% de las instituciones cuenta con 5 laboratorios aplicables a semiconductores.
Infraestructura física institucional aplicable a semiconductores.	El 75% de las instituciones cuenta con 3 laboratorios con aplicación a semiconductores.
	El 12.5% de las instituciones solo cuenta con 1 laboratorio aplicable a semiconductores.
	El 37.5% de las instituciones cuenta con amplia capacidad de equipos para I+D.
Equipo especializado para investigación y desarrollo.	El 37.5% de las instituciones cuenta con la mayoría de equipo especializado para I+D.
	El 25% de las instituciones cuenta con pocos equipos para I+D.
	El 12.5% de las instituciones forma mas de 50 personas con perfil adecuado anualmente.
Formación anual de recursos humanos con perfil deseable para semiconductores.	El 37.5% de las instituciones forma entre 30 y 50 personas con el perfil adecuado anualmente.
	El 12.5% de las instituciones forma entre 11 y 30 personas con el perfil adecuado anualmente.
	El 37.5% de las instituciones forma entre 1 y 10 personas con el perfil adecuado anualmente.
	El 12.5% de las instituciones forma entre 1 y 10 personas con el perfil adecuado anualmente.
Planes de abrir un nuevo programa académico en semiconductores o de adaptar alguno de los programas existentes para incluir esta temática.	El 50% de las instituciones esta en etapa de implementación de programas.
	El 37.5% de las instituciones se encuentra desarrollando programas.
	El 12.5% lo ha considerado pero no ha comenzado su desarrollo.
	El 25% de las instituciones cuenta con más de 30 productos.
Cuenta la institución con publicaciones científicas, patentes o desarrollos tecnológicos en áreas relacionadas con materiales y/o semiconductores.	El 25% de las instituciones cuenta con entre 15 y 30 productos.
	El 25% de las instituciones cuenta con entre 5 y 15 productos.
	El 12.5% de las instituciones cuenta con menos de 5 productos.
	El 12.5% de las instituciones no cuenta con productos de este tipo.

Tabla 5 Fortalezas y oportunidades de mejora en el sistema de educación superior y centros de investigación en el estado de Chihuahua en el área de semiconductores.

Fortalezas del sistema	Oportunidades de mejora
Alta proporción de instituciones con estrategias alineadas a semiconductores.	Ampliar el presupuesto consolidado y priorizado en más instituciones.
Experiencia significativa en desarrollo de proyectos.	Incrementar la cantidad de egresados anuales con perfiles especializados.
Presencia de infraestructura y equipo especializado.	Fortalecer la generación de publicaciones científicas y/o patentes.
Participación activa en redes nacionales e internacionales.	Ampliar el número de profesores altamente especializados en semiconductores.
Compromiso institucional con la apertura y adaptación de programas educativos.	Acelerar la implementación de programas académicos y la actualización curricular.

4.- Marco conceptual y tecnológico en ensamble, prueba y empaque (ATP)

4.1 Ensamble, prueba y empaque de semiconductores

Los semiconductores son el alma de todos los dispositivos electrónicos modernos. Desde el celular hasta una nave espacial, todos contienen millones —o incluso billones— de pequeños componentes electrónicos que permiten que funcionen. Pero antes de que estos puedan formar parte de un producto final, los chips deben pasar por un proceso complejo y altamente técnico que abarca ensamble, prueba y empaque. Este proceso es llevado a cabo, en la mayoría de los casos, por empresas OSAT (Outsourced Semiconductor Assembly and Test), que se especializan exclusivamente en estas etapas cruciales. A continuación, se describen de manera general cada una de las etapas de este proceso.

4.1.1 Proceso de ensamble de semiconductores

El ensamble (“assembly”) es el primer paso luego de la fabricación de la oblea (“wafer”) de silicio. Aunque la fabricación de la oblea ocurre en fábricas especializadas (“fabs”), el ensamble ocurre normalmente fuera de ellas, en instalaciones OSAT.

4.1.1.1 Corte de la oblea (“Dicing”)

Una oblea (“wafer”) de silicio contiene cientos o miles de chips. En esta etapa, se corta la oblea en chips individuales mediante sierras diamantadas o con láser. Este proceso se llama “dicing”.

Herramientas utilizadas: Disco de diamante, cortadoras de láser UV.

Precisión requerida: Menor a 50 micrones.

Riesgos: Fracturas en el chip, contaminación de partículas.

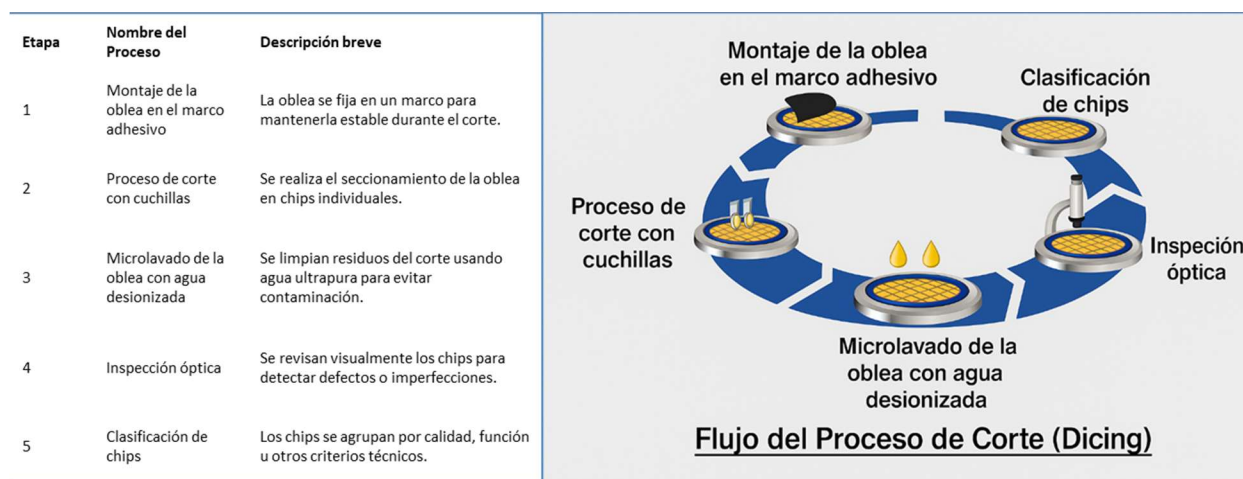


Figura 11 Flujo del proceso de corte de obleas en semiconductores.

4.1.1.2 Unión del chip al sustrato (“Die attach”)

Cada chip cortado se coloca sobre un soporte o sustrato (“package”). Este proceso se llama “Die Attach”.

Método adhesivo: Puede hacerse con epóxicos conductores o adhesivos termosensibles.

Importancia: Asegura contacto térmico y eléctrico adecuado con el paquete.

4.1.1.3 Proceso de conexión eléctrica (“Wire Bonding o Flip Chip”)

Aquí se conectan los microcables entre el chip y el sustrato del paquete. En el método de “wire bonding” se utilizan hilos de oro, cobre o aluminio ultrafinos (~25 micrones) para unir pads del chip a terminales del paquete. En el caso de “Flip Chip”, el chip se coloca al revés y se conecta mediante micro-esferas de soldadura (“solder bumps”). Cada proceso ofrece ventajas y desventajas que son:

- “Wire bonding”: Económico, simple, lento, limitado en frecuencia.
- “Flip chip”: Alta velocidad, mejor rendimiento térmico, más costoso, requiere procesos más complejos

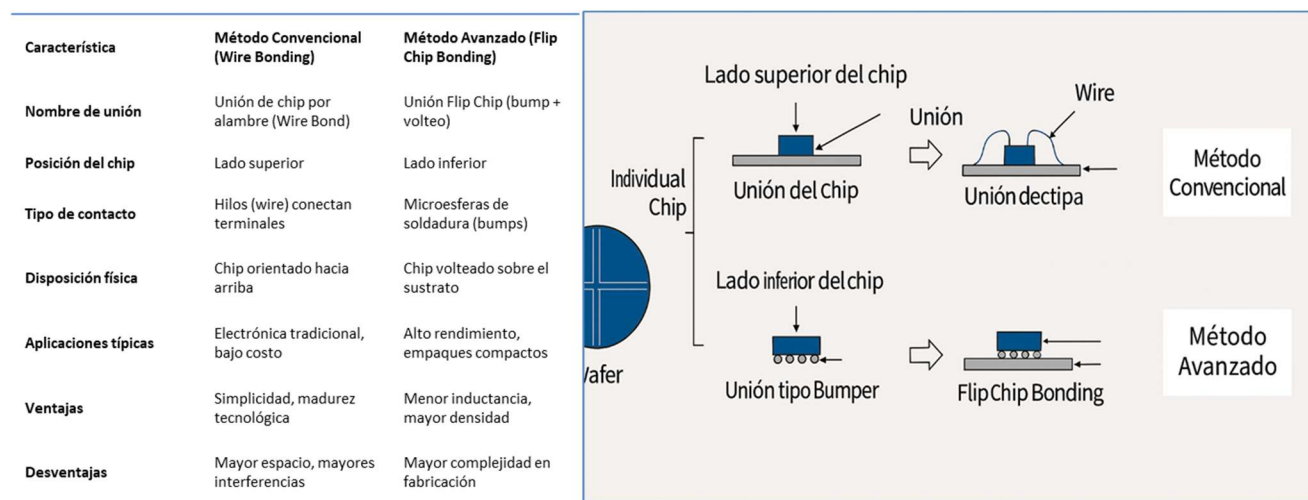


Figura 12 Proceso de unión del chip al sustrato.

4.1.1.4 Encapsulado (“Mold compound”)

Una vez conectado, el chip se encapsula con resina epóxica para protegerlo del ambiente (humedad, polvo, vibraciones). El proceso principal es el moldeo por transferencia en donde se vierte resina fundida en un molde que rodea al chip. La importancia del proceso radica en la prevención de cortocircuitos y fallas mecánicas.

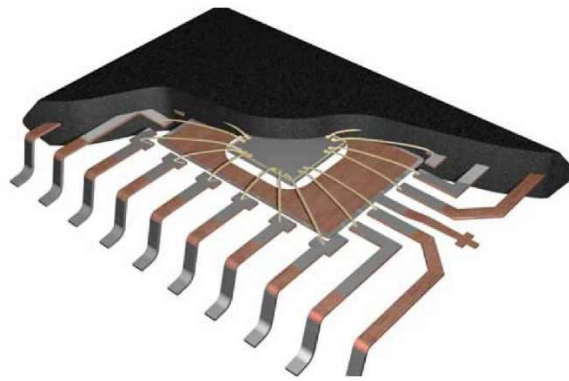


Figura 13 Chip protegido con resina epóxica para evitar corto circuitos y fallas mecánicas

4.1.1.5 Individualización (singulation)

Después del encapsulado, los paquetes múltiples que se fabrican en una matriz (panel) se cortan individualmente por corte mecánico o láser. El resultado de este proceso son chips completamente individuales, listos para pruebas.

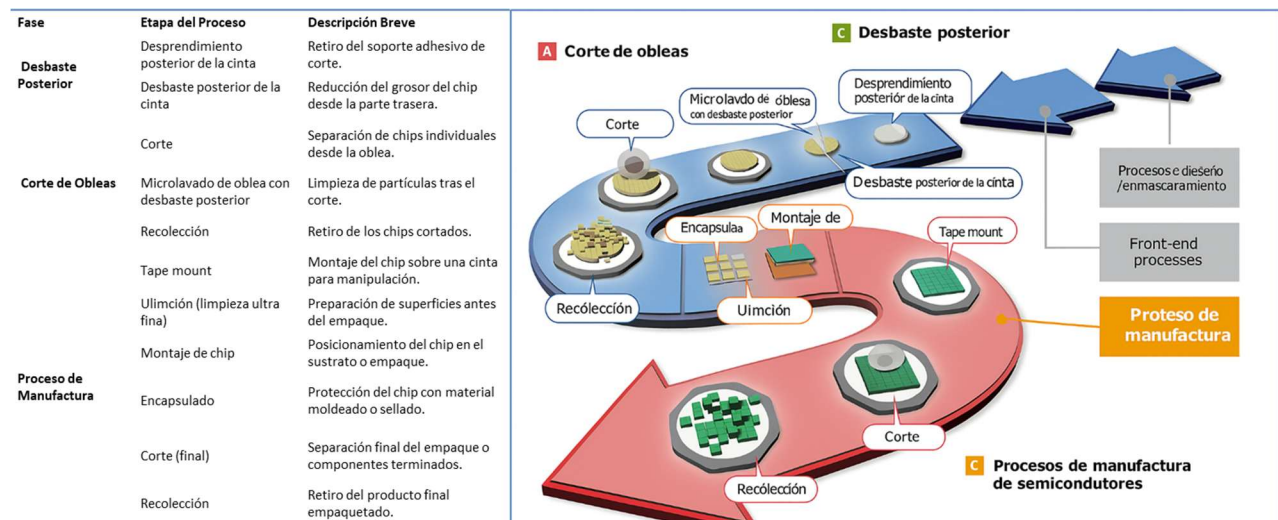


Figura 14 Flujo del proceso desde diseño hasta individualización de chips.

4.1.2 Pruebas de semiconductores (“Testing”)

La prueba de semiconductores asegura que cada chip funcione correctamente antes de ser entregado al cliente. Estas pruebas son tan importantes como la fabricación misma, ya que detectan fallas antes de su integración en productos finales.

4.1.2.1 Pruebas eléctricas (“E-Test o Wafer Sort”)

Ubicación: En “wafer”, antes de la individualización, se determinan la corriente, el voltaje, y tiempo de respuesta de cada unidad. Se utilizan sondas microscópicas que hacen contacto con los “pads” del chip.

4.1.2.2 Pruebas funcionales (“Final Test”)

Estas pruebas ya se realizan al paquete individual después del ensamble. Existen varios tipos que son:

- Test funcional: Evalúa si el chip realiza correctamente sus operaciones lógicas.
- Test paramétrico: Mide el comportamiento eléctrico detallado.
- Test de velocidad: Se asegura que opera al ritmo especificado.

Los equipos utilizados son:

- “Probers” (para “wafer-level”)
- “Handlers” (alimentan chips al sistema)
- ATE (Automatic Test Equipment)

4.1.2.3 Pruebas ambientales (“Burn-in y Stress Test”)

“Burn-in”: Se somete al chip a condiciones extremas de temperatura (~125 °C) y voltaje para acelerar el envejecimiento con el objetivo de detectar fallas tempranas (infant mortality). Las pruebas comunes son el HALT/HASS: Simulan vibración, choque térmico, humedad y más.

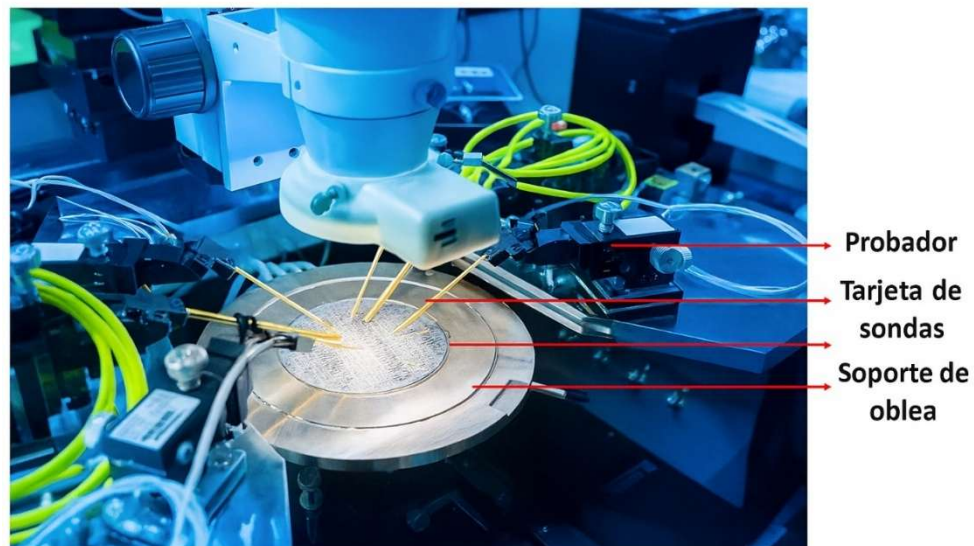


Figura 15 .- Proceso de prueba funcional de la oblea.

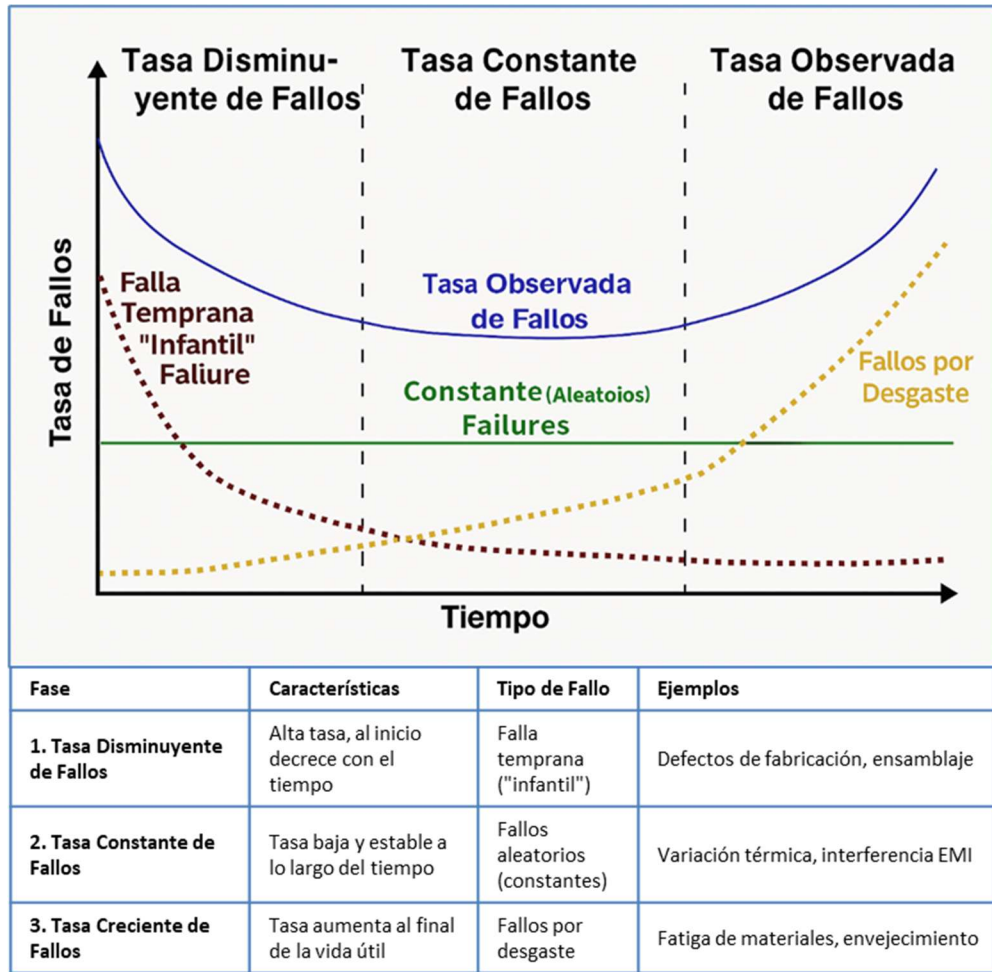


Figura 16 Proceso de mortalidad infantil inducida por la prueba de quemado.

4.1.2.4 Empaque de semiconductores

El empaque es una parte esencial de la fabricación y diseño de semiconductores. Afecta el consumo de energía, el rendimiento y el costo a nivel macro, así como la funcionalidad básica de todos los chips a nivel micro.

El empaque es el contenedor que alberga el chip semiconductor (die). Este proceso puede ser realizado por un proveedor externo, conocido como OSAT (Outsourced Semiconductor Assembly and Test), aunque las fábricas (foundries) están ampliando sus capacidades en esta área. El empaque protege el chip, lo conecta a una placa o a otros chips y puede disipar el calor generado.

Existen muchos tipos de empaques en uso actualmente, y muchos otros están en investigación en universidades o listos para producción. Esto incluye desde diseños complejos apilados con interconexiones a través del silicio (through-silicon via) hasta fan-outs y sistemas complejos en un solo chip (System on Chip, SoC). Los empaques pueden

fabricarse con materiales diversos, pueden ser estándar o personalizados, y contar con sistemas de enfriamiento activos o pasivos.

Antiguamente, los empaques eran considerados una parte poco crítica del diseño de semiconductores. Hoy en día, son esenciales en todos los niveles, y existe una competencia intensa entre las fundiciones y los OSAT's para obtener una mayor participación de este mercado, a medida que la complejidad y la rentabilidad aumentan.



Figura 17 Evolución del proceso de empaquetamiento de chips.

5.- Centro de entrenamiento en manufactura avanzada para ATP/OSAT

5.1 OSAT en Chihuahua

La industria de los semiconductores es la columna vertebral de la economía digital global. Desde la inteligencia artificial y el internet de las cosas (IoT) hasta los vehículos autónomos y la computación de alto rendimiento, ninguna de estas revoluciones tecnológicas sería posible sin los microchips. Dentro de esta compleja cadena de valor, el segmento de OSAT (Outsourced Semiconductor Assembly and Test), o Ensamblaje y Prueba de Semiconductores Subcontratados, juega un rol fundamental e indispensable. Esta etapa final de la manufactura es donde las obleas de silicio se cortan, se ensamblan en paquetes protectores y se someten a rigurosas pruebas para garantizar su funcionalidad y fiabilidad. Es una fase de alta precisión, tecnológicamente intensiva y que demanda un capital humano con habilidades sumamente especializadas.

El estado de Chihuahua, con su robusta historia como líder en la manufactura de exportación y su ecosistema industrial maduro en los sectores automotriz, aeroespacial y de dispositivos médicos, se encuentra en una posición privilegiada para capitalizar la tendencia global del “nearshoring” y atraer una porción significativa del mercado OSAT. Sin embargo, la principal barrera para la atracción, el crecimiento y la sostenibilidad de estas operaciones de alta tecnología no es la infraestructura física o la logística, sino la disponibilidad de talento calificado. La brecha entre las competencias requeridas por la industria del silicio y las habilidades del personal técnico y de ingeniería disponible es el desafío más crítico.

Es en este contexto que se define el objetivo principal de un Centro de Entrenamiento Técnico Avanzado para la Industria OSAT en Chihuahua. No se trata simplemente de un centro de capacitación, sino de un pilar estratégico diseñado para catalizar la transformación económica del estado, elevándolo de un centro de manufactura tradicional a un hub de conocimiento y tecnología de vanguardia en la cadena de suministro de semiconductores de América del Norte.

5.1.1 Objetivo General: Visión y alcance

El objetivo principal y multifacético del Centro de Entrenamiento Técnico Avanzado para la Industria OSAT en Chihuahua es desarrollar y sostener un ecosistema de talento humano de clase mundial, altamente especializado y adaptable, capaz de satisfacer las rigurosas y evolutivas demandas de las operaciones de ensamblaje, empaquetado y prueba de semiconductores, posicionando así a Chihuahua como el destino más competitivo y fiable para la inversión en la industria OSAT en el hemisferio occidental.

Este objetivo se desglosa en una serie de objetivos específicos interconectados que abordan las necesidades de la industria, la fuerza laboral y el desarrollo económico del estado.

5.1.2 Objetivos específicos detallados

5.1.2.1 Formación de capital humano especializado y certificado

El núcleo del centro será la creación de programas de formación técnica intensiva, diseñados en estrecha colaboración con los líderes de la industria. El objetivo es dotar a los técnicos e ingenieros de las competencias prácticas y teóricas necesarias para operar en un entorno de manufactura de semiconductores. Esto incluye:

- Protocolos de sala limpia (“Cleanroom”): Entrenamiento riguroso en los estándares de vestimenta, comportamiento y control de la contaminación (ESD, partículas) indispensables para trabajar en ambientes controlados ISO 5 a ISO 7.
- Procesos de Ensamblaje (“Assembly”): Capacitación práctica en equipos de die “attach” (montaje del chip), “wire bonding” (conexión de micro-alambres), encapsulación (moldeo) y “ball grid array (BGA) mounting”.
- Procesos de Prueba (Test): Formación en el manejo de probadores automáticos (“ATE - Automated Test Equipment”), análisis de fallas, interpretación de datos y aseguramiento de la calidad (QA).
- Mantenimiento de Equipos: Desarrollo de técnicos de mantenimiento capaces de diagnosticar, reparar y calibrar maquinaria de alta precisión, minimizando el tiempo de inactividad de la producción.

El objetivo no es solo enseñar, sino certificar. El centro buscará alianzas con organismos internacionales como SEMI (Semiconductor Equipment and Materials International) o IPC para que sus graduados posean credenciales reconocidas globalmente, garantizando a las empresas un estándar de calidad y competencia.

5.1.2.2 Aceleración de la productividad y reducción de la curva de aprendizaje

Actualmente, las empresas que invierten en Chihuahua deben, en ocasiones, asumir largos y costosos periodos de entrenamiento interno. El centro tiene como objetivo fundamental reducir drásticamente el “time-to-productivity” de los nuevos empleados. Al proporcionar un entorno de simulación y práctica con equipos reales o análogos a los de la industria, los graduados llegarán a la planta productiva listos para contribuir desde el primer día. Esto

representa un ahorro significativo para las empresas, reduce el riesgo de errores costosos en la línea de producción y acelera el retorno de la inversión para nuevas operaciones.

5.1.2.3 Fomento de la mejora continua y la innovación (“Upskilling y Reskilling”)

El centro no solo se enfocará en nuevo talento, sino también en la fuerza laboral existente. Su objetivo es ser una plataforma de educación continua para la industria. Ofrecerá módulos avanzados sobre nuevas tecnologías de empaquetado (ej. “Fan-Out Wafer-Level Packaging”), metodologías de calidad como Six Sigma adaptadas a semiconductores, análisis estadístico de procesos (SPC) y principios de Industria 4.0 (automatización, robótica colaborativa, análisis de datos). De esta manera, el centro se convierte en un motor que impulsa la eficiencia, la calidad y la innovación dentro de las empresas ya establecidas, asegurando que la fuerza laboral de Chihuahua se mantenga a la vanguardia tecnológica.

5.1.2.4 Servir como imán para la atracción y retención de inversión extranjera directa

Un objetivo estratégico clave es convertir al centro en la principal herramienta de promoción económica del estado para el sector. La existencia de una institución dedicada a generar un flujo constante de talento especializado elimina la principal incertidumbre para los inversores potenciales. Durante las negociaciones, el gobierno de Chihuahua podrá presentar el centro como una garantía tangible de que la operación contará con el personal calificado necesario para su éxito. Esto posiciona a Chihuahua por delante de otras regiones que solo pueden ofrecer incentivos fiscales o terrenos. El centro es una inversión en el activo más valioso: el capital humano.

5.1.2.5 Crear un ecosistema colaborativo industria-academia-gobierno:

El centro funcionará como un nexo, un terreno neutral donde las empresas del sector, las instituciones de educación superior (como la UACJ, UACH, CIMAV, IT CJ, ITCH, ITESM, UTCJ, UTPN, UPCH y otras) y las entidades gubernamentales puedan colaborar eficazmente. Su objetivo es:

- Alinear los planes de estudio universitarios y técnicos con las necesidades reales de la industria OSAT.
- Facilitar proyectos de investigación aplicada para resolver problemas específicos de las empresas.
- Organizar foros, seminarios y conferencias que promuevan el intercambio de conocimiento y las mejores prácticas.

- Al hacerlo, el centro cataliza la creación de un verdadero "clúster de semiconductores", donde la innovación y el talento fluyen de manera orgánica entre todos los actores.

En resumen, el objetivo del Centro de Entrenamiento Técnico Avanzado para la industria OSAT en Chihuahua trasciende la simple capacitación. Es una declaración de intenciones estratégica. Su finalidad es reconfigurar el ADN industrial del estado, construyendo un puente robusto y duradero entre la capacidad manufacturera de Chihuahua y las exigencias de la economía del futuro. Al enfocarse en la creación de talento especializado, acelerar la productividad, fomentar la innovación y actuar como un catalizador para la inversión y la colaboración, el centro se erige como la pieza angular para consolidar a Chihuahua no solo como un participante, sino como un líder indispensable en la cadena de valor de los semiconductores de América del Norte. Su éxito se medirá no solo en el número de técnicos graduados, sino en la magnitud de la inversión que atraiga, la complejidad de los procesos que se realicen en el estado y la prosperidad económica que genere para su gente.

5.2 Distribución arquitectónica del centro

El diseño de este centro se fundamenta en cuatro pilares esenciales para simular un entorno industrial de alta tecnología de manera efectiva y segura:

- **Zonificación Estratégica:** Las áreas se agrupan por función y nivel de acceso: una zona pública (recepción, auditorio), una zona académica (aulas), una zona administrativa y la zona de alta seguridad y especialización (laboratorios y sala limpia).
- **Flujo de proceso lógico:** La distribución imita el flujo de personal y material en una planta OSAT real, especialmente en la transición de áreas comunes a la sala limpia, para reforzar las buenas prácticas de manufactura.
- **Modularidad y flexibilidad:** Los espacios, especialmente los laboratorios, se diseñan con infraestructura modular (conexiones de energía, datos y gases) para poder adaptarse a futuras tecnologías y equipos sin necesidad de remodelaciones mayores.
- **Seguridad y visibilidad:** Se prioriza la seguridad en el manejo de equipos y materiales. Paneles de vidrio estratégicamente ubicados permiten la observación de los procesos en la sala limpia desde pasillos exteriores, facilitando las visitas y la supervisión sin comprometer la limpieza del ambiente.

Tabla 6 Áreas propuestas para el Centro de Entrenamiento ATP

Zona	Área Específica	Metros Cuadrados	Propósito Principal
1. Pública y de Difusión	Recepción y Lobby	70	Control de acceso, primera impresión, área de espera.
	Auditorio	130	Conferencias, graduaciones, eventos con la industria (cap. 100-120 pers).
	Subtotal	200 m ²	
2. Capacitación Teórica	Aula de Capacitación 1	60	Enseñanza teórica, grupos de 20-25 personas.
	Aula de Capacitación 2	60	Enseñanza teórica, grupos de 20-25 personas.
	Laboratorio de Cómputo y Simulación	80	Diseño (CAD), simulación de procesos, análisis estadístico (SPC).
	Subtotal	200 m ²	
3. Entrenamiento Práctico	Laboratorio de Mantenimiento y Automatización	150	Robótica, PLC, neumática, mantenimiento de equipos.
	Vestidores y Área de "Gowning"	80	Protocolo de entrada/salida a sala limpia.
	Sala Limpia ("Cleanroom") ISO 7	300	Corazón del centro: Ensamblaje y Prueba.
	Subtotal	530 m ²	
4. Administración	Oficina del director	20	Dirección y estrategia.
	Oficinas de instructores/"Staff" (4)	40	Área de trabajo para personal académico y administrativo.
	Sala de Juntas	30	Reuniones internas y con socios industriales.
	Archivo y Papelería	10	Almacenamiento de documentos.
	Subtotal	100 m ²	
5. Servicios y Circulación	Cafetería / Área de Descanso	60	Espacio para socialización y comidas.
	Sanitarios y Servicios Generales	40	Baños para personal y visitantes.
	Pasillos y Áreas de Circulación	50	Flujo de personas entre zonas.
	Cuarto de Máquinas, TI y Almacén	20	HVAC, servidores, almacenamiento de consumibles.
	Subtotal	170 m ²	
TOTAL		1,200 m ²	

5.2.1 Descripción Detallada por Zona

5.2.1.1 Zona pública y de difusión (Acceso principal)

Recepción y lobby (70 m²): Un espacio moderno y acogedor que funciona como primer punto de contacto. Incluye un mostrador de seguridad/información, un área de espera confortable y pantallas que muestran información sobre el centro, sus socios y los logros de sus egresados.

Auditorio (130 m²): Con capacidad para 100-120 personas, equipado con un sistema audiovisual de última generación, proyector láser, sistema de sonido profesional y capacidad para videoconferencias. Es un espacio multifuncional para ceremonias de graduación, seminarios técnicos, presentaciones de empresas y foros del clúster de semiconductores.

5.2.1.2 Zona de capacitación teórica (Ala académica)

Aulas de capacitación (2 x 60 m²): Diseñadas para la flexibilidad, con mobiliario modular que puede configurarse para clases magistrales, trabajo en equipo o mesas redondas. Cada aula está equipada con pizarras inteligentes interactivas, proyectores y acceso a la red de alta velocidad.

Laboratorio de cómputo y simulación (80 m²): Contiene 25 estaciones de trabajo de alto rendimiento. Aquí, los estudiantes aprenden a usar software estándar de la industria para:

- Diseño asistido por computadora (CAD): Para el diseño de paquetes de semiconductores.
- Simulación de procesos: Software que emula el comportamiento de los equipos de la sala limpia.
- Análisis estadístico de procesos (SPC): Herramientas para el control de calidad y la optimización de la producción.
- Programación básica de sistemas embebidos.

5.2.1.3 Zona de Entrenamiento Práctico

Laboratorio de mantenimiento y automatización (150 m²): Un "taller limpio" ubicado fuera de la sala limpia. Aquí se entrenan las habilidades de soporte a la producción. Incluye:

- Brazos robóticos colaborativos (Cobots).
- Estaciones de entrenamiento de Controladores Lógicos Programables (PLC).

- Bancos de trabajo con herramientas para diagnóstico y reparación de componentes electrónicos y mecánicos.
- Módulos de neumática e hidráulica.
- Vestidores y Área de "Gowning" (80 m²): Es la antesala obligatoria a la sala limpia. Se divide en:
 - Zona de pre-vestido: Con casilleros para objetos personales.
 - Zona de "Gowning": Un área con presión de aire controlada, bancos específicos, espejos, e instrucciones visuales paso a paso para la correcta colocación del traje completo (bata, cofia, cubrebocas, guantes, cubrezapatos).
 - Zona de "De-gowning": Proceso inverso para la salida, con depósitos para desechables y ropa reutilizable.

Sala Limpia ("Cleanroom") ISO 7 / Clase 10,000 (300 m²): El entorno de simulación real. Cuenta con suelo de epoxy, filtros HEPA/ULPA en el techo para un flujo de aire laminar, presión de aire positiva y control estricto de temperatura y humedad. La iluminación es amarilla en ciertas áreas para proteger materiales fotosensibles. Se subdivide en estaciones de trabajo claramente definidas:

- Estación de "Wafer Mount & Dicing": Equipos para montar obleas en marcos y cortarlas en chips individuales (dados).
- Estación de "Die Attach": Máquinas automatizadas que toman los dados y los pegan con precisión sobre el sustrato del paquete.
- Estación de "Wire Bonding": Microscopios de alta potencia y equipos que conectan micro-alambres de oro o cobre desde el chip a los pines del sustrato.
- Estación de encapsulación y moldeo: Equipos que cubren el chip y los alambres con un compuesto plástico protector.
- Estación de pruebas eléctricas (ATE): Probadores automáticos donde los estudiantes aprenden a cargar programas de prueba, operar los equipos y realizar una primera interpretación de resultados (pasa/falla).

- Estación de metrología e Inspección: Microscopios de alta resolución y sistemas de visión artificial para la inspección de calidad en cada paso del proceso.

5.2.1.4 Zona de administración y servicios

Estas zonas dan soporte a toda la operación. La Administración (100 m²) está ubicada cerca del acceso principal para facilitar la interacción con visitantes y socios. Los Servicios (170 m²), como la cafetería y los sanitarios, se localizan en un punto central para ser accesibles desde el área académica y la administrativa, mientras que el cuarto de máquinas y almacenes se sitúan en la periferia del edificio para aislar el ruido y facilitar la logística de suministros.

La Figura 18 presenta el diagrama de flujo del centro de entrenamiento ATP.

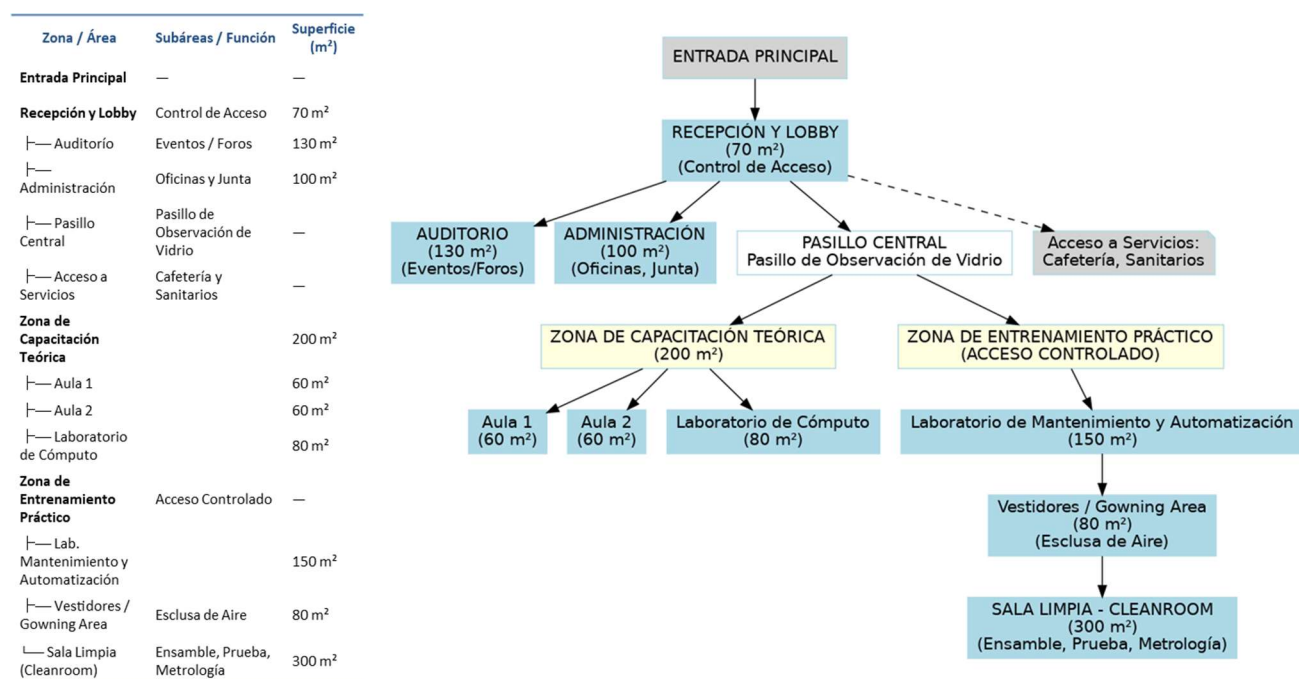


Figura 18 Diagrama de flujo del centro de enseñanza avanzada ATP (OSAT).

5.3.- Evaluación de costo e inversiones

5.3.1 Zona de capacitación teórica y digital (Aulas y laboratorio de cómputo)

Esta área requiere herramientas para la enseñanza de conceptos, diseño y simulación antes de pasar a la práctica.

Tabla 7 Costo de equipo para zona de capacitación teórica.

Equipo	Especificaciones Mínimas	Cant.	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
Estaciones de Trabajo (PCs)	Core i7/Ryzen 7, 32GB RAM, 1TB SSD, GPU dedicada (NVIDIA RTX 3060 o similar), monitor 27".	25	\$1,200	\$30,000
Licenciamiento de Software	Paquetes educativos/entrenamiento para CAD (SolidWorks/AutoCAD), Simulación y Análisis Estadístico (Minitab).	1	\$10,000	\$10,000
Pizarras Inteligentes	Pantalla táctil interactiva 4K de 86 pulgadas.	2	\$1,250	\$2,500
Mobiliario Académico	Mesas y sillas para 25 estaciones y 2 aulas.	1	\$12,000	\$12,000
Subtotal				\$52,400

5.3.2 Zona de entrenamiento práctico

Este es el corazón de la inversión. Se prioriza equipo semi-automático o manual de grado industrial, ideal para la enseñanza de principios fundamentales sin el costo prohibitivo del equipo de producción de alto volumen. La opción de equipo reacondicionado certificado es altamente recomendada para optimizar el presupuesto.

Tabla 8 Costo de equipo para zona de capacitación práctica en prueba eléctrica.

Equipo	Especificaciones Mínimas	Cant.	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
Celdas de Robot Colaborativo	Brazo robótico de 6 ejes, 5-10 kg de carga, con controlador, teach pendant y mesa de trabajo.	2	\$12,000	\$25,000
Estaciones de PLC	Módulos de entrenamiento (Siemens o Allen-Bradley) con CPU, E/S digitales/análogas y panel HMI.	5	\$7,000	\$35,000
Bancos de Trabajo (Electrónica)	Bancos ESD-safe equipados con osciloscopio, multímetro, fuente de poder y estación de soldadura.	4	\$5,000	\$20,000
Subtotal				\$80,000

5.3.3 Equipamiento de sala limpia ISO 7

El equipamiento crítico que simula la línea de ensamblaje y prueba OSAT/ATP.

Tabla 9 Costo de equipo para zona de capacitación de línea de ensamblaje y prueba OSAT.

Equipo	Especificaciones Mínimas	Cant.	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
Sierra de Corte de Obleas (Dicing Saw)	Manual o semi-automática para obleas de hasta 200mm (8"), alineación por video, control de precisión.	1	\$30,000	\$30,000
Montadora de Dados (Die Bonder)	Semi-automática con sistema de dispensado de epoxi, platina caliente, alineación por reconocimiento de patrones.	1	\$35,000	\$35,000
Soldadora de Alambre (Wire Bonder)	Manual/Semi-automática para soldadura de bola (oro) o cuña (aluminio), control de lazo y parámetros de ultrasonido.	1	\$55,000	\$55,000
Prensa de Encapsulación (Molding)	Prensa de transferencia a escala de laboratorio, manual o hidráulica, con moldes de entrenamiento.	1	\$10,000	\$10,000
Probador de Parámetros (ATE Trainer)	Analizador de parámetros de semiconductores o sistema modular (PXI) para pruebas funcionales y de CD.	1	\$50,000	\$50,000
Microscopio de Inspección	Metalúrgico de alta potencia (hasta 1000x) con cámara digital y software de medición.	3	\$10,000	\$30,000
Mobiliario de Sala Limpia	Mesas de acero inoxidable perforadas, racks de almacenamiento, sillas de sala limpia.	1	\$25,000	\$25,000
Subtotal				\$235,000

5.3.4 Equipamiento general y auxiliar

Equipos para el funcionamiento general y soporte del centro.

Tabla 10 Costo de equipo para áreas generales y auxiliares del centro.

Equipo	Especificaciones Mínimas	Cant.	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
Sistema A/V para Auditorio	Proyector de alta luminosidad, sistema de audio, micrófonos y podio.	1	\$6,500	\$6,500
Infraestructura de TI	Servidor, switches de red, firewall, cableado estructurado.	1	\$20,000	\$20,000
Mobiliario de Oficina y Cafetería	Escritorios, sillas, archivadores, mesas y sillas para área de descanso.	1	\$20,000	\$20,000
Kit Inicial de Consumibles	Trajes de sala limpia, guantes, redes para cabello, cubrezapatos, obleas de práctica, epoxi, alambre de oro, etc.	1	\$15,000	\$15,000
Subtotal				\$61,500

La Tabla 11 presenta el resumen del presupuesto:

Tabla 11 Resumen de costos de inversión requerida en equipo.

Descripción	Costo Total Estimado (USD)
1. Zona Teórica y Digital	\$52,400
2. A. Lab. Mantenimiento y Automatización	\$80,000
2. B. Sala Limpia (Cleanroom)	\$235,000
3. Equipamiento General y Auxiliar	\$61,500
Subtotal de Equipamiento	\$428,900
Contingencia (15%)	\$64,335
TOTAL ESTIMADO DEL PROYECTO (Equipamiento)	\$493,235

5.4 Fases de desarrollo del centro

Basado en los modelos de desarrollo de centros de talento en semiconductores de países líderes como Taiwán (ITRI), Malasia (CREST, Penang Skills Development Centre), Singapur y Vietnam, se puede estructurar un plan estratégico de crecimiento por fases para el Centro de Entrenamiento en Ensamblaje, Prueba y Empaquetado (ATP/OSAT) en Chihuahua.

Este modelo evolutivo permite iniciar con una inversión controlada, validar el modelo, y escalar de manera sostenible a medida que la demanda y la complejidad de la industria en la región crezcan.

5.4.1 Fundación y programa piloto (Año 1-2)

Esta fase inicial se centra en establecer la credibilidad del centro, construir alianzas clave y ofrecer entrenamiento fundamental con una inversión en equipo optimizada. El objetivo es resolver la necesidad más inmediata de la industria: técnicos de nivel de entrada con conocimientos sólidos en los fundamentos de la manufactura de semiconductores.

5.4.1.1 Estrategia y enfoque:

Alianzas estratégicas: La prioridad número uno es formar un consorcio industrial con las empresas de manufactura electrónica y manufactura avanzada ya presentes en Chihuahua. Este consorcio validará el currículo, proporcionará instructores invitados, podría donar equipo en desuso, pero funcional y, crucialmente, se comprometerá a contratar a los graduados. Se firmarán Memorandos de Entendimiento (MOU) con universidades clave (UACJ, UACH, ITCJ, ITCH, UTCJ, ITESM) para crear un flujo de candidatos y alinear programas.

El entrenamiento se concentra en las habilidades transversales y esenciales que no requieren equipo de proceso de alto costo. El objetivo es que un graduado pueda ingresar a una planta y ser productivo en semanas, no meses.

5.4.1.1.1 Desarrollo de cursos:

"Semiconductores 101": Introducción a la industria, la cadena de valor y la terminología.

- Protocolos de sala limpia ("Cleanroom"): Curso intensivo y práctico sobre control de contaminación, comportamiento en sala limpia (gowning/de-gowning) y seguridad ESD (descarga electrostática).
- Manejo de materiales y calidad: Introducción a los principios de manufactura esbelta (Lean), 5S, control estadístico de procesos (SPC) básico y manejo seguro de químicos y materiales sensibles.

- Seguridad industrial (EHS): Normas de seguridad específicas para plantas de semiconductores.
- Introducción a la automatización: Fundamentos de robótica y PLC, enfocado en la interacción humano-máquina.

5.4.1.1.2 Adquisición de equipo:

La inversión se centra en el equipamiento de soporte y simulación, no en la línea de proceso completa.

- Laboratorio de protocolo de sala limpia: Se construye una maqueta de "gowning room" y una pequeña sala limpia (puede ser ISO 8 en esta fase) para la práctica intensiva de los protocolos.
- Laboratorio de mantenimiento y automatización: Inversión en estaciones de entrenamiento de PLC y 1-2 brazos robóticos colaborativos (cobots) de bajo costo.
- Estaciones de inspección: Adquisición de microscopios ópticos de buena calidad para inspección visual.
- Equipo donado/usado: Se gestiona activamente la donación o compra a bajo costo de equipos de inspección o medición que la industria local esté renovando.
- Software de simulación: Inversión en licencias educativas para simular procesos y control estadístico.

5.4.2 Crecimiento intermedio y procesos clave (Año 3-5)

Con el éxito y la validación de la Fase 0, el centro escala para simular los procesos de ensamblaje más críticos. El objetivo es que los técnicos no solo entiendan los protocolos, sino que hayan operado equipo análogo al de una línea de producción real.

5.4.2.1 Estrategia y enfoque:

Integración vertical del talento: Se expande la oferta para incluir no solo técnicos de nivel de entrada, sino también programas de "upskilling" para técnicos existentes y cursos de especialización para ingenieros junior.

- "Mini-Línea" de ensamblaje: El objetivo es tener una secuencia de equipos que permita simular el flujo de proceso central del ensamblaje.

- Certificaciones reconocidas: Se inician los procesos para que los cursos y competencias otorguen certificaciones reconocidas por organismos como IPC o SEMI.

5.4.2.1.1 Desarrollo de cursos:

Procesos de ensamblaje (“Hands-On”):

- Técnicas de montaje de dados (“Die Attach”): Curso práctico sobre dispensado de epoxi y precisión en el montaje.
- Técnicas de soldadura de alambre (“Wire Bonding”): Práctica en la operación de máquinas de “wire bonding” manuales o semi-automáticas.

Introducción a pruebas eléctricas: Fundamentos de la prueba de semiconductores, operación de probadores paramétricos básicos.

Ingeniería de procesos nivel junior: Cursos para ingenieros sobre diseño de experimentos (DoE), control de procesos avanzado y análisis de fallas básico.

Mantenimiento de equipo específico: Programas de entrenamiento para técnicos de mantenimiento enfocados en los equipos adquiridos.

5.4.2.1.2 Adquisición de equipo:

Aquí se realiza la inversión más significativa, priorizando equipo reacondicionado certificado para maximizar el valor.

- Sala limpia: Si se inició con ISO 8, se realiza la actualización a ISO 7.
- Sierra de corte de obleas (“Dicing Saw”): Se adquiere una sierra manual o semi-automática para enseñar el proceso de singularización de dados.
- Montadora de dados (“Die Bonder”): Se compra una máquina semi-automática que permita a los estudiantes practicar la alineación y el montaje.
- Soldadora de alambre (“Wire bonder”): Es una pieza clave. Se adquiere una unidad manual o semi-automática para la práctica de esta habilidad crítica.
- Prensa de encapsulación (“Molding”): Se adquiere una prensa a escala de laboratorio para enseñar los fundamentos del moldeo por transferencia.

- Probador paramétrico (“ATE Trainer”): Se invierte en un sistema de pruebas modular (ej. basado en PXI) que enseña los conceptos de la prueba eléctrica sin el costo de un ATE de producción.
- La inversión en esta fase se enfoca en completar la "mini-línea", sumando aproximadamente \$250,000 - \$400,000 USD en equipo de proceso.

5.4.3 Maduración y centro de excelencia (Año 5+)

El centro ya no es solo una institución de entrenamiento, sino un pilar del ecosistema de semiconductores de la región. Se convierte en un centro de innovación, pruebas y desarrollo a pequeña escala para la industria local.

5.4.3.1 Estrategia y enfoque:

Puente hacia la Investigación y Desarrollo (I+D): El centro ofrece sus capacidades a empresas locales para pruebas de concepto, desarrollo de prototipos y calificación de nuevos materiales a pequeña escala.

- Especialización en empaquetado avanzado: Se introduce tecnología y conocimiento sobre tendencias futuras como el empaquetado a nivel de oblea (WLP), 2.5D y 3D.
- Autosuficiencia financiera: El modelo de negocio se diversifica. Además de los cursos, se generan ingresos por servicios de análisis, pruebas y proyectos de consultoría para la industria.
- Hub de talento regional: El centro se posiciona como el referente para el talento en semiconductores en el norte de México y el sur de EE. UU., atrayendo a estudiantes e ingenieros de toda la región.

5.4.3.1.1 Desarrollo de cursos:

- Empaquetado avanzado (“Advanced Packaging”): Seminarios y cursos sobre tecnologías emergentes.
- Análisis de fallas avanzado: Uso de técnicas y equipos sofisticados para la identificación de la causa raíz de fallas en los chips.
- Ingeniería de fiabilidad: Cursos sobre pruebas de estrés ambiental y calificación de componentes.

- Gestión de la cadena de suministro de semiconductores: Programas para profesionales no técnicos que necesitan entender la industria.

5.4.3.1.2 Adquisición de equipo:

La adquisición es altamente especializada y se alinea con las necesidades de los socios industriales para proyectos de I+D.

- Equipo de metrología avanzada: Se considera la adquisición de un Sistema de Inspección por Rayos X para análisis no destructivo y, potencialmente, un Microscopio Acústico de Barrido (SAM) para detectar delaminaciones.
- Equipo de pruebas de fiabilidad: Cámaras de ciclo térmico y de humedad para realizar pruebas de calificación.
- Capacidades de "Flip-Chip": Adquisición de una montadora con capacidad "flip-chip", un proceso clave en el empaquetado moderno.
- Estaciones de análisis de fallas: Equipo para decapado de chips y análisis de superficies.

La inversión en esta fase es oportunista y cofinanciada con proyectos industriales, pudiendo sumar entre \$300,000 y \$500,000 USD adicionales en capacidades analíticas y de proceso avanzado.

Siguiendo este plan por fases, el centro de entrenamiento de Chihuahua puede mitigar el riesgo financiero inicial, crecer orgánicamente con la industria y evolucionar desde un proveedor de talento fundamental hasta convertirse en un centro de innovación y un motor estratégico indispensable para la competitividad de la región en la cadena de valor global de los semiconductores.

6.0 Modelo integral de formación y entrenamiento para el centro de excelencia ATP/OSAT de Chihuahua

En el vertiginoso escenario de la economía global, la cadena de suministro de semiconductores se ha revelado como el sistema nervioso central del progreso tecnológico. La creciente tendencia del “nearshoring” y la imperativa necesidad de fortalecer las cadenas de valor en América del Norte presentan una oportunidad histórica para México, y en particular, para el estado de Chihuahua. Con su legado industrial y su posición geográfica estratégica, Chihuahua está destinado a convertirse en un nodo crítico en el ensamblaje, prueba y empaquetado (ATP/OSAT) de semiconductores. Sin embargo, la infraestructura y la inversión carecen de valor sin su contraparte más crucial: el capital humano. El verdadero diferenciador competitivo no reside en el concreto o en la maquinaria, sino en la pericia, disciplina y capacidad de innovación de su gente.

Es con esta visión que se diseña el presente Modelo Integral de Formación y Entrenamiento. Este documento no es un simple catálogo de cursos, sino la carta de navegación estratégica para el Centro de Excelencia ATP/OSAT. Inspirado en los exitosos modelos de desarrollo de talento de potencias en semiconductores como Taiwán, Malasia y Singapur, nuestro enfoque se basa en una arquitectura modular, evolutiva y simbiótica con la industria. El modelo está diseñado para crecer en congruencia con el plan de desarrollo por fases del centro, asegurando que cada etapa de inversión en infraestructura y equipamiento sea correspondida con un salto cualitativo en la formación de talento.

Este escrito detallará los principios fundamentales que rigen nuestro modelo pedagógico, desglosará la estructura curricular a través de sus fases de maduración, definirá con precisión los perfiles de ingreso y las rutas de carrera de nuestros egresados, y describirá la metodología híbrida que combina la teoría rigurosa con la práctica intensiva para forjar a la próxima generación de expertos en semiconductores de México.

6.1 Principios Fundamentales del modelo formativo

Antes de definir el “qué” se enseñará, es vital establecer el “cómo” y el “porqué”. Cuatro pilares filosóficos sostienen toda la estructura formativa del centro, garantizando su relevancia, efectividad y sostenibilidad.

Alineación industrial total: El centro no operará en un vacío académico. Desde su concepción, funcionará bajo la guía de un Consorcio Industrial formado por las empresas líderes del sector electrónico y de manufactura avanzada en la región. Este consorcio no será un simple espectador; será un socio activo en el co-diseño del currículo, la validación de las competencias, la probable donación de equipo, la provisión de instructores invitados y, fundamentalmente, como el principal empleador de los egresados. Esta simbiosis

garantiza que cada hora de entrenamiento esté directamente alineada con una necesidad real y tangible del piso de producción.

Competencias sobre credenciales: En la industria de alta tecnología, el valor de un profesional se mide por lo que es capaz de hacer, no por el diploma que posee. Por ello, el modelo se enfoca en el desarrollo de competencias observables y medibles. La evaluación no se basará primordialmente en exámenes escritos, sino en la demostración práctica de habilidades. ¿Puede el técnico ejecutar un protocolo de sala limpia sin errores? ¿Puede operar la máquina de “wire bonding” siguiendo el Procedimiento Operativo Estándar (SOP)? ¿Puede identificar una anomalía a través del microscopio? El éxito se define por la capacidad de ejecutar tareas con precisión, seguridad y eficiencia.

En el modelo pedagógico híbrido 70-20-10 se adopta y adapta el probado modelo de desarrollo corporativo para maximizar la retención del conocimiento y la aplicación práctica.

- 70% Aprendizaje práctico (Aprender haciendo): La mayor parte del tiempo de formación se desarrollará en los laboratorios y, sobre todo, en la sala limpia simulada. Los estudiantes aprenderán operando el equipo, realizando procedimientos reales, resolviendo problemas prácticos y familiarizándose con el ritmo y la disciplina del entorno de producción.
- 20% Aprendizaje colaborativo (Aprender de otros): Se fomentará el aprendizaje a través de la interacción. Esto incluye proyectos en equipo, sesiones de mentoría con instructores, charlas con veteranos de la industria y resolución de problemas en grupo, simulando el trabajo en equipo requerido en una planta real.
- 10% Aprendizaje teórico (Aprender el fundamento): La base conceptual se impartirá en las aulas. Aunque es el porcentaje menor en tiempo, es el cimiento indispensable que da sentido a la práctica. Aquí se enseñará el "porqué" detrás de cada procedimiento, la ciencia de los materiales y los principios de la física de semiconductores.
- Modularidad y apilamiento: El currículo no es un programa monolítico, sino un sistema de módulos de competencia que pueden ser tomados de manera independiente o "apilados" para construir certificaciones y rutas de carrera. Un trabajador de otra industria puede tomar solo el módulo de "Protocolo de Sala Limpia" para reconvertirse. Un técnico recién egresado puede cursar el programa completo de "Técnico de Producción Nivel 1". Un técnico con experiencia puede

regresar para tomar un módulo de especialización en "Wire Bonding". Esta flexibilidad garantiza que el centro sirva a una amplia gama de necesidades y promueva el aprendizaje continuo a lo largo de toda una carrera profesional.

6.2 Estructura curricular por casos de desarrollo

El contenido y la profundidad del entrenamiento evolucionarán en paralelo a las fases de crecimiento del centro, asegurando una perfecta sincronía entre la capacidad instalada y la oferta formativa.

6.2.1 Fase 0 (Año 1-2): El Cimiento del talento – Formando técnicos "Cleanroom-Ready"

El objetivo de esta fase es crear una base sólida de talento con las habilidades fundamentales para ser productivo desde el primer día en cualquier entorno de manufactura controlada.

- Perfil de ingreso: Egresados de bachillerato técnico (CBTIS, CONALEP), personal de la industria maquiladora de otros sectores (electrónico, automotriz, médico) en busca de reconversión, y candidatos con preparatoria terminada que demuestren alta disciplina y atención al detalle.
- Perfil de egreso: Técnico de Producción Nivel 1 (ATP-1). Es un profesional que domina los protocolos de seguridad y sala limpia, entiende los principios de calidad y manufactura, y está listo para ser entrenado en un proceso específico dentro de la planta.

6.2.2 Fase 1 (Año 3-5): La Especialización técnica – Forjando operadores de proceso

Con la adquisición de la "mini-línea" de ensamblaje, el centro comienza a formar especialistas. El entrenamiento pasa del "cómo comportarse" al "cómo operar".

- Perfil de ingreso: Egresados certificados del programa ATP-1 o técnicos que ya laboran en la industria y buscan especializarse o ser promovidos.
- Perfil de egreso: Técnico Especialista de Proceso Nivel 2 (ATP-2). Un profesional capaz de operar, monitorear y realizar ajustes básicos en un equipo de proceso específico, como Dicing, Die Attach o Wire Bonding.

Tabla 12 Programa de Formación Troncal ATP-1

Módulo	Descripción	Duración	Metodología
1. Introducción a la Industria de Semiconductores	Historia, cadena de valor global, principales actores, glosario de términos (Wafer, Die, Yield, etc.) y el rol crítico de la fase ATP/OSAT.	16 hrs	100% Teórico
2. Cultura de Calidad y Manufactura Esbelta	Principios de 5S, control visual, introducción al Control Estadístico de Procesos (SPC), y la mentalidad de Cero Defectos.	24 hrs	50% Teórico / 50% Práctico
3. Protocolo de Sala Limpia y Control ESD	Módulo Crítico. Comportamiento, vestimenta (gowning/de-gowning), fuentes de contaminación, principios y control de la descarga electrostática (ESD).	60 hrs	10% Teórico / 90% Práctico
4. Seguridad Industrial y Manejo de Materiales (EHS)	Identificación de riesgos, manejo seguro de químicos, ergonomía, y procedimientos de emergencia (Lockout/Tagout).	20 hrs	60% Teórico / 40% Práctico
5. Fundamentos de Automatización Industrial	Interacción con sistemas automatizados, introducción a la robótica colaborativa, y principios básicos de los Controladores Lógicos Programables (PLC).	40 hrs	30% Teórico / 70% Práctico
6. Examen Final de Competencias Prácticas	Evaluación práctica integral donde el candidato debe completar un ciclo de trabajo simulado, incluyendo gowning, manejo de materiales y protocolos de seguridad.	20 hrs	100% Práctico

6.2.2.1 Rutas de especialización modulares

Ruta A: Técnico especialista en ensamblaje (Duración: 120 horas adicionales)

- Módulo A1: Corte de obleas (“Dicing”): Operación de la sierra, montaje de obleas, selección de cuchillas, control de calidad del corte. (40 hrs)
- Módulo A2: Montaje de dados (“Die Attach”): Operación de la máquina, control del dispensado de epoxi, alineación y criterios de inspección. (40 hrs)
- Módulo A3: Soldadura de alambre (“Wire Bonding”): Operación de la “bonders”, perfiles de lazo (“loop profiles”), pruebas de tracción (“pull/shear test”) y defectos comunes. (40 hrs)

Ruta B: Técnico Especialista en pruebas (Duración: 80 horas adicionales)

- Módulo B1: Fundamentos de pruebas eléctricas: Conceptos de pruebas DC, funcionales, y lectura de hojas de datos (datasheets). (40 hrs)
- Módulo B2: Operación de ATE: Carga de programas de prueba, manejo de tarjetas de sondeo (probe cards), y análisis básico de resultados (binning). (40 hrs)

Ruta C: Técnico de mantenimiento de equipo (Duración: 160 horas adicionales)

- Módulo C1: Diagnóstico y mantenimiento de PLC/Robots: Programación avanzada, diagnóstico de fallas y mantenimiento preventivo. (80 hrs)
- Módulo C2: Calibración y mantenimiento de equipo de proceso: Mantenimiento preventivo y calibración de los equipos de la mini-línea. (80 hrs)

6.2.3 Fase 2 (Año 5+): La Maduración – Cultivando a los futuros líderes e innovadores

El centro se transforma en un hub de conocimiento avanzado, atendiendo no solo a técnicos, sino también a ingenieros y líderes de equipo.

Perfil de ingreso: Técnicos Especialistas (ATP-2) con alto potencial, ingenieros recién egresados de mecatrónica, física, materiales, electrónica, industrial, manufactura, entre otras y personal de supervisión de la industria.

Perfil de egreso: Técnico de Proceso Avanzado (ATP-3) o Ingeniero de Integración de Procesos. Un profesional que no solo opera, sino que entiende el "porqué" del proceso, puede liderar proyectos de mejora ("yield improvement"), y participar en la introducción de nuevos productos (NPI).

6.2.3.1 Programas avanzados y de desarrollo de ingeniería:

- Curso de análisis de fallas ("Failure Analysis"): Uso de equipo avanzado (Rayos X, microscopía acústica) para el análisis no destructivo y la identificación de causa raíz. (40 hrs)
- Seminario de empaquetado avanzado ("Advanced Packaging"): Introducción a las tecnologías que definen el futuro de la industria como WLP, Fan-Out y 2.5D/3D. (24 hrs)
- Certificación en ingeniería de procesos y control estadístico avanzado: Diseño de experimentos (DoE), análisis de capacidad de proceso (Cpk), y metodologías Six Sigma aplicadas. (80 hrs)

- Proyectos "Capstone" industriales: Semestral. Equipos de estudiantes trabajan en un problema real propuesto por una empresa del consorcio, presentando una solución al final del periodo.

6.4 Metodología pedagógica y la experiencia del estudiante

El cómo se imparte el conocimiento es tan importante como el contenido mismo. El centro se aleja del modelo pasivo de lectura y memorización para abrazar una inmersión total en el entorno industrial.

Un día típico para un estudiante del programa ATP-1 podría estructurarse así:

- Mañana, aula (1 hora): Comienza con una sesión teórica sobre los principios del control ESD. Se discuten las fuentes, los mecanismos de falla y los materiales de protección.
- Media mañana, discusión y simulación (2 horas): En el laboratorio de cómputo, trabajan en un simulador que les presenta escenarios de riesgo ESD. En equipos, discuten y proponen soluciones. Un instructor facilita la discusión.
- Tarde, Sala Limpia (4 horas): El resto del día lo pasan en la sala limpia. Primero, practican repetidamente el procedimiento de vestimenta hasta que es perfecto. Luego, realizan tareas de manejo de obleas y componentes en bancos de trabajo ESD-safe, con el instructor observando, corrigiendo y midiendo su cumplimiento de los protocolos en tiempo real.

La evaluación es continua y práctica. Los estudiantes mantienen una "bitácora de competencias" que es firmada por el instructor cada vez que demuestran dominio sobre una habilidad específica. El examen final no es una prueba de opción múltiple, sino una simulación de un turno de trabajo donde deben realizar una serie de tareas complejas de manera segura y eficiente, bajo la atenta mirada de un evaluador. Para las fases avanzadas, la evaluación se basa en la exitosa finalización de proyectos de mejora de proceso o análisis de fallas.

El Modelo Integral de Formación y Entrenamiento aquí presentado es mucho más que un plan educativo; es el motor estratégico diseñado para impulsar a Chihuahua al frente de la industria de semiconductores en América. Al adoptar un enfoque modular, evolutivo y profundamente arraigado en las necesidades de la industria, el Centro de Excelencia ATP/OSAT asegurará un flujo constante y sostenible de talento de clase mundial.

Este modelo transforma la capacitación de un simple costo operativo a una inversión estratégica con un retorno medible: reducción en la curva de aprendizaje, aumento en la productividad y calidad (yield), y una mayor capacidad de la región para atraer inversiones de mayor valor tecnológico. Al crear rutas de carrera claras y ascendentes, desde el técnico de nivel de entrada hasta el ingeniero de innovación, el centro no solo llenará vacantes, sino que construirá futuros, fomentará la lealtad y elevará el estándar de vida de la comunidad.

En última instancia, el éxito de este centro y de su modelo formativo se medirá por el éxito de sus egresados y de la industria a la que sirven. Será la prueba viviente de que Chihuahua no solo ensambla y prueba los componentes del futuro, sino que también forja a los arquitectos humanos que harán posible ese futuro.

6.5 Estrategia de Integración 360° para el centro de excelencia ATP/OSAT de Chihuahua

Un centro de entrenamiento de alta tecnología, por más avanzado que sea su equipamiento o visionario su currículo, no puede prosperar de manera individual. Su verdadero poder y su sostenibilidad a largo plazo no emanan de sus muros, sino de la fortaleza y profundidad de sus conexiones. Para que el Centro de Excelencia en Ensamblaje, Prueba y Empaquetado (ATP/OSAT) de Chihuahua trascienda su rol de simple capacitador y se convierta en el catalizador del clúster de semiconductores de la región, debe tejerse intrínsecamente en el tejido educativo e industrial que lo rodea. Debe ser el nexo donde la curiosidad académica se encuentra con la aplicación práctica, donde la demanda de la industria moldea la oferta de talento, y donde la calidad formativa es validada por estándares globales.

Esta porción detalla la estrategia de integración 360°, un plan holístico diseñado para construir puentes de doble vía entre el centro, el sistema educativo y el sector productivo. Dicha estrategia se divide en dos pilares fundamentales pero interconectados: primero, la integración vertical con la educación media superior y superior para asegurar un flujo constante y preparado de talento; y segundo, la integración horizontal con la industria y los organismos de certificación para garantizar la relevancia, la calidad y la credibilidad global de su formación. Este no es un plan de acciones aisladas, sino un sistema sinérgico diseñado para crear un ciclo virtuoso de crecimiento, innovación y competitividad.

6.5.1 Integración con el ecosistema educativo

El centro debe posicionarse no como un competidor de las instituciones educativas, sino como su socio estratégico y el siguiente paso lógico en la ruta de desarrollo profesional. La estrategia se diferencia para atender las necesidades específicas de cada nivel educativo.

6.5.1.1 Colaboración estratégica con la Educación Media Superior (CONALEP, CBTIS, CECyTECH, COBACH, etc.)

El objetivo en este nivel es doble: despertar el interés en la industria de los semiconductores y construir un canal de talento con las habilidades blandas y técnicas fundamentales. Esta es la fase de "siembra".

- Programa "Embajadores del Silicio": Se creará un cuerpo de voluntarios, compuesto por instructores del centro y jóvenes ingenieros de las empresas socias. Estos embajadores visitarán regularmente las preparatorias técnicas para impartir charlas dinámicas y visuales. En lugar de una plática aburrida, mostrarán un iPhone y explicarán: "El cerebro de este dispositivo, uno de los chips más avanzados del mundo, pasa por un proceso de empaquetado y prueba como el que enseñamos aquí mismo, en Chihuahua. Esta es una carrera de futuro, con alta demanda y excelente remuneración". El objetivo es desmitificar la industria y conectarla con la tecnología que los jóvenes usan a diario.
- Orientación vocacional especializada y ferias de talento: El centro colaborará con los departamentos de orientación vocacional de las escuelas para definir claramente el perfil del "Técnico OSAT del Futuro". Se destacarán no solo los requisitos técnicos, sino también las habilidades blandas indispensables: atención al detalle, disciplina, capacidad de seguir procedimientos rigurosos y resolución de problemas. El centro organizará una feria anual de talento OSAT, invitando a las empresas del consorcio a instalar stands y reclutar directamente de las preparatorias técnicas.
- Micro-credenciales y módulos de introducción: Para crear un puente tangible, el centro ofrecerá módulos cortos del programa ATP-1 (ej. "Introducción a Salas Limpias y ESD" de 20 horas) que los estudiantes de los últimos semestres de preparatoria podrán cursar en fines de semana o periodos inter-semestrales. Al completarlo, obtendrán una micro-credencial reconocida por el consorcio industrial, dándoles una ventaja competitiva inmediata al graduarse y sirviendo como un crédito revalidable si deciden inscribirse en el programa completo del centro.
- Actualización y capacitación docente: El eslabón más importante para guiar a los estudiantes son sus propios maestros. El centro ofrecerá talleres gratuitos y seminarios de actualización para los docentes del área técnica de las preparatorias. Al educar a los educadores sobre las realidades, exigencias y oportunidades de la

industria OSAT, nos aseguramos de que el mensaje correcto permee en las aulas de manera continua.

- Visitas guiadas y "Días abiertos": Se implementará un programa robusto de visitas guiadas al centro de entrenamiento. Permitir que los estudiantes vean la sala limpia a través de los paneles de observación, interactúen con un robot colaborativo y hablen con los instructores.

6.5.1.2 Sinergia profunda con la Educación Superior (UACH, CIMAV, UACJ, ITCJ, ITCH, ITESM, UTCJ, UTPN, UPCH, otros)

A nivel universitario, la colaboración se vuelve más sofisticada. El objetivo es desarrollar talento de ingeniería, facilitar la investigación aplicada y crear rutas académicas fluidas que integren la formación del centro.

- Desarrollo curricular y cátedras industriales: Se establecerá un comité académico-industrial permanente con los directores de las carreras de ingeniería (mecatrónica, electrónica, física, manufactura, industrial, materiales y otras). El propósito es revisar y alinear los planes de estudio universitarios para incluir temas relevantes para la industria de semiconductores. El centro, financiado por el consorcio, podrá patrocinar una "Cátedra OSAT" en una o más universidades, asegurando que un profesor se dedique a impartir materias especializadas y a dirigir proyectos en el área.
- Residencias profesionales y prácticas de alto valor: El centro se convertirá en el destino predilecto para las prácticas y residencias profesionales. A diferencia de las prácticas tradicionales, los estudiantes aquí no serán observadores pasivos. Serán asignados a proyectos reales: optimizar un proceso en la "mini-línea", desarrollar un programa para un PLC en el laboratorio de mantenimiento, o realizar análisis de datos de pruebas. Esta experiencia práctica será invaluable y altamente diferenciadora en su currículum.
- Acreditación de estudios: Se firmarán convenios con las universidades para que los módulos avanzados del centro (los de las rutas de especialización ATP-2 y los programas ATP-3) sean reconocidos formalmente y otorguen créditos académicos. Un estudiante de ingeniería podría, por ejemplo, cursar su especialización de último año en el centro, graduándose con su título de ingeniero y, simultáneamente, con una Certificación de "Especialista en Ensamblaje" reconocida por la industria.

- Banco de proyectos de tesis y "Capstone Projects": El centro actuará como un intermediario entre la industria y la academia. Las empresas del consorcio presentarán problemas o desafíos reales de sus operaciones. Estos desafíos se convertirán en un "banco de proyectos" que los estudiantes de último año podrán seleccionar para desarrollar como su tesis o proyecto final, utilizando las instalaciones, el equipo y la mentoría del centro y de la empresa patrocinadora.
- Plataforma de investigación aplicada: Durante su fase de maduración (Fase 2), con la adquisición de equipo analítico avanzado (Rayos X, SAM, etc.), el centro ofrecerá acceso a estos equipos a estudiantes de maestría, doctorado y a los propios profesores para sus proyectos de investigación. Esto fomenta la innovación y puede llevar a publicaciones conjuntas y al desarrollo de nueva propiedad intelectual, posicionando a Chihuahua no solo como un centro de manufactura, sino también de conocimiento.

6.5.1.3 Forjando la alianza industrial y la credibilidad global

La integración con la industria y los organismos de certificación es el pilar que garantiza la calidad, la relevancia y la viabilidad financiera del centro a largo plazo.

6.5.1.3.1 El Consorcio industrial: De Socio a propietario del modelo

- Gobernanza compartida y dirección estratégica: La estructura de gobierno del centro incluirá un Consejo Directivo o Asesor con asientos permanentes para los representantes de las empresas miembro del consorcio. Este consejo no será decorativo; tendrá un voto decisivo en la aprobación del presupuesto anual, la estrategia de adquisición de nuevos equipos y la actualización del currículo. La industria no solo pide talento, sino que ayuda a crearlo.
- Modelo de membresía sostenible: Se establecerá un modelo de membresía escalonado (ej. Platino, Oro, Plata). Las empresas pagarán una cuota anual que les otorgará beneficios tangibles: un número garantizado de cupos de entrenamiento para su personal a una tarifa preferencial, prioridad para entrevistar y contratar a las nuevas generaciones de egresados, y acceso a los laboratorios para proyectos de pequeña escala. Estos ingresos por membresías formarán una base financiera estable para el centro, reduciendo su dependencia de fondos públicos a largo plazo.
- Ciclo de retroalimentación de 360 Grados: Se implementará un sistema formal de retroalimentación. Cada trimestre, se realizarán reuniones de "voz del cliente" donde los gerentes de ingeniería y producción de las empresas miembro evaluarán el

desempeño de los recién contratados. ¿Qué habilidades son excelentes? ¿Dónde hay áreas de oportunidad? Esta información de primera mano se traducirá en ajustes ágiles y rápidos al contenido de los módulos de entrenamiento.

6.5.1.3.2 Estrategia de certificación: El Sello de calidad y reconocimiento global

Una certificación del centro debe ser sinónimo de excelencia. Para lograrlo, la estrategia de certificación se construirá en múltiples niveles.

- **Certificación Interna (ATP-1, ATP-2, ATP-3):** Este es el primer nivel, la marca propia del centro. Estas certificaciones serán el estándar de oro dentro del ecosistema industrial de Chihuahua, diseñadas y respaldadas por el consorcio. Una certificación "ATP-2 en Wire Bonding" será una garantía inmediata de competencia para cualquier empresa de la región.
- **Acreditación por estándares internacionales (IPC):** El centro buscará activamente convertirse en un Centro de Entrenamiento Autorizado por IPC. Normas como el IPC-A-610 (Aceptabilidad de Ensamblajes Electrónicos) son el lenguaje universal de la calidad en la manufactura electrónica. Ofrecer estas certificaciones oficiales junto con las propias del centro proporcionará a los egresados una credencial portátil y reconocida en cualquier parte del mundo, elevando instantáneamente el prestigio y la credibilidad del centro.
- **Alineación con estándares SEMI:** Aunque SEMI (Semiconductor Equipment and Materials International) no ofrece una certificación universal para técnicos, sí publica una vasta biblioteca de estándares de la industria (sobre seguridad, comunicación de equipos, manejo de materiales, etc.). El currículo del centro se alineará explícitamente con estos estándares, y se mencionará dicha alineación en sus materiales. Esto demuestra un compromiso con las mejores prácticas globales y facilita la integración de los egresados en empresas multinacionales que operan bajo estas normas.
- **Certificación de calidad institucional (ISO 9001):** En su fase de madurez, el propio centro de entrenamiento buscará la certificación ISO 9001. Esta norma no certifica el contenido técnico, sino la calidad y robustez de sus procesos de gestión (cómo se diseña un curso, cómo se inscribe un estudiante, cómo se mide la satisfacción, cómo se implementa la mejora continua). Obtener esta certificación demostraría al mundo que el centro opera con el mismo nivel de disciplina y enfoque en la calidad que exige de sus estudiantes y de la industria a la que sirve.

La estrategia de integración 360° es el plan maestro para asegurar que el Centro de Entrenamiento ATP/OSAT de Chihuahua sea mucho más que un edificio con tecnología avanzada. Es el diseño de un organismo vivo y dinámico, profundamente interconectado con sus fuentes de talento y sus socios industriales. Al crear un flujo bidireccional de conocimiento, necesidades y oportunidades, el centro se convierte en el corazón palpitante de un ecosistema de semiconductores próspero y resiliente.

Esta integración garantiza que el centro nunca se vuelva obsoleto, que sus egresados posean las habilidades exactas que la industria demanda, y que su operación sea financieramente sostenible. Conecta las aulas de las preparatorias y universidades con las salas limpias de las fábricas, transforma problemas industriales en proyectos académicos, y convierte la formación técnica en carreras profesionales de alto valor. A través de esta red sinérgica, el centro no solo construirá talento, sino que construirá confianza, innovación y, en última instancia, el futuro de la industria tecnológica de vanguardia en México.

7.0 Análisis de mercado OSAT/ATP en Norteamérica: Catalizando la revolución del Silicio desde Chihuahua

La industria de los semiconductores se encuentra en medio de la reconfiguración más significativa de la cadena de suministro en tres décadas. La era de la globalización optimizada exclusivamente para el costo ha terminado, reemplazada por un nuevo paradigma dictado por la resiliencia geopolítica, la seguridad nacional y la proximidad regional. Las lecciones aprendidas durante la pandemia y las crecientes tensiones tecnológicas entre Estados Unidos y China han desencadenado una carrera por relocalizar las capacidades de manufactura de chips. En este escenario, Norteamérica, impulsada por legislaciones monumentales como la Ley CHIPS y Ciencia de EE. UU., está invirtiendo cientos de miles de millones de dólares para reconstruir su ecosistema de semiconductores.

Sin embargo, la construcción de mega-fábricas de obleas (fabs) en Arizona, Texas y Ohio es solo el primer paso. Estas instalaciones generarán una demanda masiva y sin precedentes de servicios de Ensamblaje, Prueba y Empaquetado (ATP, comúnmente subcontratado a empresas OSAT). Actualmente, más del 80% de esta capacidad crítica reside en Asia. Este desequilibrio representa la mayor vulnerabilidad de la cadena de suministro norteamericana y, simultáneamente, la oportunidad más grande para México, y en particular, para el estado de Chihuahua.

Este análisis explora la vasta demanda potencial para procesos OSAT/ATP en Norteamérica, destacará las oportunidades de integración para Chihuahua dentro de las cadenas de valor de sectores estratégicos, evaluará las amenazas presentadas por las políticas arancelarias y, finalmente, delineará un plan de acción para desarrollar las fortalezas internas necesarias para consolidar a la región como un líder indispensable en la nueva geografía del silicio.

7.1 El Nuevo paradigma: Análisis de mercado y demanda potencial en Norteamérica

La demanda de servicios OSAT/ATP en Norteamérica no es meramente incremental; es explosiva y estructural. Históricamente, la región se enfocó en el diseño de chips (liderado por gigantes fabless como NVIDIA, AMD, Qualcomm) y en la manufactura de obleas de nicho o de alta gama, mientras que la fase final, intensiva en mano de obra y capital, se subcontrató masivamente a Asia. Hoy, esa estrategia es insostenible.

La Ley CHIPS de 2022 destinó \$52 mil millones de dólares para incentivar la manufactura en suelo estadounidense. El resultado, visible en 2025, es una serie de proyectos transformadores:

- TSMC en Arizona: Invirtiendo más de \$40 mil millones en dos fabs avanzadas.

- Intel en Arizona y Ohio: Con proyectos de expansión y nuevas construcciones que superan los \$40 mil millones.
- Samsung en Texas: Con una inversión de \$17 mil millones en una nueva fab.

Colectivamente, estas plantas comenzarán a producir cientos de miles de obleas al mes en los próximos años. Cada una de esas obleas debe ser probada, cortada, ensamblada en un paquete, y probada nuevamente. La logística de enviar estas obleas a Taiwán, Malasia o China para luego importar los chips terminados de vuelta a Norteamérica es un cuello de botella monumental que socava el propósito mismo de la Ley CHIPS: la autosuficiencia y la velocidad.

Este escenario crea un masivo "gap" de capacidad. Se estima que la demanda de servicios de empaquetado avanzado en Norteamérica crecerá a una tasa anual compuesta superior al 10% hasta 2030, impulsada por cinco vectores tecnológicos clave:

- Inteligencia artificial (IA) y Computación de alto rendimiento (HPC): Requieren empaquetado complejo (2.5D, 3D) para combinar múltiples chips (chipselets) en un solo paquete, una tecnología dominada por Asia.
- Automotriz: La electrificación y la autonomía están convirtiendo a los vehículos en centros de datos sobre ruedas, con una demanda creciente de semiconductores de potencia (SiC, GaN) y de alta fiabilidad.
- Internet de las cosas (IoT) y 5G: Una explosión de dispositivos conectados que necesitan chips de bajo consumo y empaquetado compacto.
- Aeroespacial y defensa: Un sector estratégico que exige cadenas de suministro seguras y auditables, con una tolerancia cero al riesgo de componentes falsificados o comprometidos.
- Dispositivos médicos: Miniaturización y alta fiabilidad para implantes y equipos de diagnóstico.

El mercado está enviando una señal clara: existe una necesidad urgente y masiva de capacidad OSAT/ATP segura, confiable y, sobre todo, regional.

7.2 La oportunidad Chihuahuense: Integración de cadenas de suministro y sectores estratégicos

Chihuahua no es un candidato más en esta carrera; es el candidato con la propuesta de valor más convincente de Norteamérica. Su estrategia no se basa en competir con Asia en costo bruto, sino en ofrecer una solución integral basada en la proximidad, la integración y la especialización.

La propuesta de valor geográfica es irrefutable. Un camión puede transportar obleas de alto valor desde las “fabs” de TSMC en Phoenix, Arizona, hasta un centro OSAT en Ciudad Juárez en menos de seis horas. El ciclo completo “de oblea a chip probado” podría reducirse de 4-6 semanas (el tiempo de envío y procesamiento en Asia) a menos de 72 horas. Esta agilidad es un cambio de juego para la gestión de inventarios y el tiempo de llegada al mercado (“time-to-market”). El tratado USMCA/T-MEC proporciona el marco legal para este flujo de bienes con un mínimo de fricción arancelaria, siempre y cuando se cumplan las reglas de origen.

Gigantes “Fabless” (NVIDIA, AMD, Qualcomm, Apple) son los mayores clientes de OSAT a nivel mundial. Actualmente dependen casi por completo de proveedores asiáticos como TSMC, ASE y Amkor. Para ellas, una opción de alta calidad en Chihuahua representa una diversificación crítica de su cadena de suministro. Una planta OSAT en Chihuahua podría ofrecerles una “Línea de Producción Norteamericana” dedicada, garantizando una cadena de suministro libre de las incertidumbres del Pacífico para sus clientes en EE. UU. y Europa.

IDM’s como Intel y Texas Instruments, aunque tienen capacidades internas de ATP, a menudo subcontratan porcentajes de su producción para gestionar picos de demanda, para productos de menor margen o para tecnologías de empaquetado específicas que no son su foco principal. Un OSAT en Chihuahua sería un socio ideal de “capacidad flexible” para sus operaciones en EE. UU.

Empresas de semiconductores de tamaño mediano que no tienen el volumen para ser un cliente prioritario en los gigantes asiáticos encontrarían en un OSAT en Chihuahua un socio más ágil y enfocado en sus necesidades.

La estrategia más inteligente para Chihuahua es apalancar sus fortalezas industriales existentes.

Chihuahua ya es una potencia en la manufactura de arneses y componentes automotrices. El estado puede posicionarse como el hub para el empaquetado y prueba de semiconductores de grado automotriz. Esto permitiría una integración vertical única: un chip de potencia se empaqueta y prueba en una planta OSAT en Juárez, y luego se envía a

otra planta en la ciudad de Chihuahua para ser integrado directamente en un módulo de control de motor para un cliente como Ford o Stellantis.

El estado posee un clúster robusto en la industria médica y aeroespacial en estos sectores, que demandan producción de "alta mezcla, bajo volumen" ("high-mix, low-volume") y certificación rigurosa. Un OSAT chihuahuense podría especializarse en estos nichos de alto valor, que requieren una trazabilidad y calidad que los proveedores asiáticos, enfocados en el volumen de consumo, no siempre priorizan.

7.3 Navegando la incertidumbre: Amenazas arancelarias y la coyuntura geopolítica

Si bien la oportunidad geoestratégica para Chihuahua es innegable, el camino hacia la consolidación como un hub de OSAT/ATP está plagado de una incertidumbre significativa, emanada casi en su totalidad de la evolución de la política comercial de Estados Unidos. A mediados de 2025, es evidente que la era del libre comercio predecible ha dado paso a un entorno de nacionalismo económico y decisiones transaccionales. Para cualquier inversor en un proyecto de capital intensivo como un centro OSAT, estos riesgos no son marginales; son el factor central que podría determinar la viabilidad del proyecto.

7.3.1 El proteccionismo recargado: Más allá de los aranceles a China

La política comercial de la actual administración estadounidense ha evolucionado desde un enfoque anti-China hacia un proteccionismo más amplio, afectando incluso a sus socios más cercanos. Durante la primera mitad de 2025, se han presentado una serie de acciones que impactan directamente el modelo de negocio de manufactura en México:

- **Aranceles generalizados y selectivos:** La imposición de aranceles generales a productos que no califican rigurosamente bajo las reglas de origen del T-MEC ha sido un golpe directo. La tarifa del 25% sobre bienes que, aunque ensamblados en México, contienen un alto porcentaje de componentes de extra-zona (particularmente de Asia), afecta directamente el corazón del modelo OSAT, que inherentemente depende de una cadena de suministro global de sustratos, marcos metálicos y otros materiales. Esto obliga a una gestión de la cadena de suministro extremadamente sofisticada y costosa para garantizar el cumplimiento y evitar que el beneficio de la proximidad se evapore en sobre costos arancelarios.
- **Uso de la seguridad nacional como justificación (Sección 232):** La re-imposición de aranceles al acero y aluminio mexicanos bajo el argumento de la seguridad nacional, y la amenaza constante de aplicarlos al sector automotriz, demuestran una disposición a utilizar herramientas unilaterales que eluden los mecanismos de disputa del T-MEC. Esto crea un precedente peligroso: si hoy es el acero, mañana

podría ser cualquier producto, incluidos los semiconductores, si se considera que la "dependencia" de México en ciertas áreas constituye una vulnerabilidad para EE. UU.

- **Vínculo con temas no comerciales:** La política comercial se ha convertido en una herramienta de negociación para temas ajenos al comercio, como la migración y la seguridad. La amenaza de imponer aranceles punitivos como palanca para forzar acciones en otras áreas genera una inestabilidad constante. Un inversionista debe preguntarse si su operación multimillonaria podría verse comprometida de la noche a la mañana por una crisis en un ámbito completamente diferente.

7.3.1.1 El TMEC bajo asedio: La crítica revisión de 2026

El mayor riesgo sistémico en el horizonte es la revisión del TMEC, programada para julio de 2026, pero cuyo proceso de negociación informal ya ha comenzado a sentirse en 2025. Lejos de ser la simple "revisión técnica" que se anticipaba originalmente, se perfila como una renegociación profunda y contenciosa que podría alterar fundamentalmente el acuerdo.

Aunque el T-MEC tiene una vigencia de 16 años, la cláusula de revisión estipula que si en 2026 las tres partes no acuerdan extenderlo por otros 16 años, el tratado entra en un modo de revisiones anuales hasta su expiración definitiva en 2036. Esta falta de una reafirmación contundente en 2026 inyectaría una dosis letal de incertidumbre a largo plazo. Ninguna empresa realizará una inversión a 10 o 15 años, como la que requiere una planta OSAT, si el marco legal que la soporta podría desaparecer.

Una de las principales quejas del ala proteccionista en Washington es la percepción de que México es utilizado por China como una "puerta trasera" para eludir los aranceles estadounidenses. Se argumenta que la inversión china en México permite a sus empresas ensamblar productos y exportarlos a EE. UU. bajo los beneficios del TMEC. Como resultado, es casi seguro que la delegación estadounidense exigirá un endurecimiento drástico de las reglas de origen, especialmente en sectores de alta tecnología como la electrónica y la automotriz. Esto podría hacer que para un OSAT en Chihuahua sea extremadamente difícil y costoso calificar sus productos como "originarios" de Norteamérica.

La negociación estará dominada por la presión de EE. UU. para repatriar más empleos y fortalecer sus propias cadenas de suministro, a veces a expensas de sus socios. Podríamos ver demandas para incrementar aún más el Contenido de Valor Laboral (CVL) o para establecer cuotas que limiten las importaciones de ciertos productos mexicanos, incluso si cumplen con las reglas. La retórica de "déficit comercial" sigue siendo un arma política potente, y el superávit de México con EE. UU. lo convierte en un blanco fácil.

Una retirada total del TMEC es un escenario extremo y mutuamente destructivo, no es imposible. Un escenario más probable es una parálisis negociadora: si las demandas de EE. UU. son inaceptables para México y Canadá, el proceso podría estancarse, dejando a las empresas en un limbo regulatorio durante meses o incluso años, congelando por completo las decisiones de inversión.

7.3.1.2 Otras amenazas a considerar

Chihuahua no es el único jugador. Otros estados en México, así como regiones en EE. UU. y Canadá, también buscan atraer inversión OSAT. La competencia por el talento y los incentivos será feroz. A medida que la industria crezca, la demanda de ingenieros y técnicos especializados disparará los salarios, erosionando parte de la ventaja de costos.

La industria de semiconductores tiene tolerancia cero a las interrupciones de energía y agua. La estabilidad y calidad de la red eléctrica en la región es una preocupación constante que debe ser abordada con inversiones significativas.

8.0 Modelo operativo y de gobernanza para el centro ATP/OSAT de Chihuahua: Estructura para la sostenibilidad a largo plazo

La creación de un centro de entrenamiento de clase mundial en el sector de semiconductores es un proyecto de gran complejidad. Si bien el equipamiento de vanguardia y un currículo pertinente son la cara visible del éxito, la arquitectura invisible que sostiene toda la operación —su modelo de gobernanza, su figura legal, su red de alianzas y su estrategia de sostenibilidad— es lo que en última instancia determinará si el centro prospera como un motor de desarrollo regional o se convierte en un proyecto aislado y efímero.

A mediados de 2025, en un Chihuahua que cuenta con la promesa del “nearshoring”, establecer un modelo operativo robusto no es un ejercicio administrativo, sino un imperativo estratégico. Este modelo debe ser lo suficientemente ágil para adaptarse a la velocidad de la industria tecnológica, lo suficientemente sólido para soportar las presiones políticas y económicas, y lo suficientemente colaborativo para integrar de manera efectiva a los actores clave: gobierno, industria y academia.

En esta sección se presenta una propuesta detallada para el modelo operativo y de gobernanza del Centro ATP/OSAT. Se explorará la figura legal más adecuada para una asociación público-privada en el contexto mexicano, se profundizará en la mecánica de las alianzas estratégicas, se delineará una estructura organizativa funcional y, crucialmente, se establecerá un modelo de sostenibilidad financiera multifacético diseñado para garantizar la viabilidad del centro a largo plazo.

8.1 Figura legal y modelo de gestión

La naturaleza del centro, que sirve a un propósito público (desarrollo de talento, competitividad económica) pero es impulsado por las necesidades del sector privado, exige una estructura que combine lo mejor de ambos mundos. La figura legal y el modelo de gestión deben proteger la inversión pública, garantizar la agilidad operativa y asegurar que la voz de la industria sea la que guíe las decisiones estratégicas.

8.1.1 La figura legal propuesta: Asociación Civil (A.C.) con un consejo directivo tripartita

Tras analizar diversas opciones como los fideicomisos públicos o los organismos públicos descentralizados, la figura más idónea para el centro es la de una Asociación Civil (A.C.) sin fines de lucro. Esta estructura ofrece un balance óptimo de flexibilidad, transparencia y gobernanza compartida.

A diferencia de una entidad gubernamental, una A.C. no está sujeta a las rigideces de la ley de adquisiciones gubernamentales para la compra de equipo o la contratación de servicios.

Puede moverse a la velocidad de la industria, adquiriendo tecnología o contratando instructores especializados de manera rápida y eficiente. Como entidad no gubernamental, actúa como un terreno neutral donde empresas competidoras, diferentes niveles de gobierno y múltiples universidades pueden colaborar sin las barreras de la burocracia o la política.

Una A.C. puede recibir fondos tanto públicos (federales, estatales) como privados (cuotas de membresía, donaciones de empresas, patrocinios, fondos de fundaciones internacionales) de una manera transparente y auditable.

Al ser "sin fines de lucro", su objetivo primordial siempre será el cumplimiento de su misión —la formación de talento— y no la generación de ganancias para accionistas, lo que genera confianza en todos los participantes.

8.1.2 Modelo de gobernanza

El corazón de la gobernanza de la A.C. será su Consejo Directivo. Este no será un consejo honorífico, sino un órgano de gobierno activo y con poder de decisión, cuya composición reflejará la naturaleza tripartita de la alianza. La distribución de poder podría ser la siguiente:

- 40% Representación industrial: Los asientos serían ocupados por ejecutivos de alto nivel (Directores de Planta, VPs de Ingeniería) de las empresas que conforman el Consorcio Industrial y que pagan las cuotas de membresía más altas. Este bloque garantiza que la dirección estratégica del centro (qué cursos ofrecer, qué equipo comprar) esté siempre dictada por la demanda real del mercado.
- 30% Representación gubernamental: Asientos para representantes clave del Gobierno del Estado de Chihuahua (Secretaría de Innovación y Desarrollo Económico), el Gobierno Federal (Secretaría de Economía) y posiblemente el municipio de Juárez. Este bloque asegura la alineación con las políticas públicas de desarrollo, facilita la obtención de fondos y permisos, y supervisa el uso correcto de los recursos públicos.
- 30% Representación académica y de expertos: Asientos para los rectores o directores de las principales universidades y preparatorias técnicas (UACJ, ITESM, UTCJ, CONALEP). Se incluiría también a 1 o 2 expertos técnicos independientes de renombre en la industria de semiconductores. Este bloque garantiza la calidad pedagógica, facilita la integración con el sistema educativo y aporta una visión técnica objetiva.

Las decisiones críticas (aprobación del presupuesto anual, nombramiento del Director General, cambios mayores al plan estratégico) requerirían una mayoría calificada (ej. dos tercios de los votos), forzando el consenso entre los tres bloques y evitando que un solo sector domine la agenda.

8.2 Alianzas Estratégicas

El consejo directivo es la formalización de las alianzas, pero la verdadera colaboración se vive en el día a día a través de mecanismos operativos concretos. La Alianza con la Industria es la más crítica. Más allá de la participación en el consejo, la relación se estructura a través de:

- **Comités técnicos:** Se formarán comités técnicos específicos por área (ej. Comité de Ensamblaje, Comité de Pruebas, Comité de Mantenimiento) compuestos por ingenieros de las empresas miembro. Estos comités se reunirán trimestralmente para revisar y proponer ajustes detallados al contenido de los módulos de entrenamiento, asegurando que las técnicas enseñadas sean las más actuales.
- **Programa "Instructor por un día":** Se formalizará un programa donde ingenieros y gerentes de la industria impartan módulos específicos o seminarios. Esto no solo enriquece el aprendizaje con experiencia del mundo real, sino que también sirve como una herramienta de reclutamiento para las empresas.
- **Laboratorio abierto ("Open Lab"):** Las empresas miembro tendrán derecho a un número determinado de horas al mes para utilizar el equipo del centro para fines de I+D a pequeña escala, como probar un nuevo material o calificar un nuevo proceso, fortaleciendo el rol del centro como hub de innovación.

La alianza con la academia asegura el flujo de entrada de talento y la calidad pedagógica. Los mecanismos de colaboración que se visualizan son:

- **Convenios de créditos académicos:** Como se mencionó anteriormente, se trabajarán convenios formales para que los programas del centro otorguen créditos académicos, creando rutas educativas integradas.
- **Investigación conjunta:** El centro, a través de sus lazos con la industria, identificará problemas reales que se convertirán en proyectos de investigación para profesores y estudiantes de posgrado, con financiamiento conjunto entre la empresa interesada y fondos públicos de ciencia y tecnología.

- Bolsa de trabajo unificada: El centro operará una bolsa de trabajo especializada en semiconductores, que será el principal punto de contacto entre los estudiantes (tanto del centro como de las universidades asociadas) y las oportunidades laborales en las empresas del consorcio.

Finalmente, la alianza con el gobierno como facilitador y el garante del interés público a través de las siguientes acciones:

- Fondo de becas para el talento: El Gobierno del Estado, junto con el federal, buscarán crear un fondo de becas para cubrir parcial o totalmente el costo de la formación para estudiantes de bajos recursos y para trabajadores en proceso de reconversión, asegurando que el acceso al centro sea inclusivo.
- Simplificación administrativa: El gobierno se comprometerá a crear una "ventanilla única" para el centro y las empresas del sector, agilizando trámites de importación de equipo, permisos de construcción y otras necesidades regulatorias.
- Promoción internacional: El centro será el emblema en las misiones de promoción económica del estado para atraer nueva inversión en alta tecnología.

8.3 Estructura organizativa sugerida

Para ejecutar esta visión, se necesita una estructura organizativa esbelta, eficiente y enfocada en el cliente (estudiantes e industria). La estructura reportará al Consejo Directivo a través del Director General.

- Dirección general: El líder y visionario del centro. Idealmente, un profesional con una sólida formación técnica en manufactura de alta tecnología y experiencia en gestión de negocios y relaciones institucionales. Es el principal enlace entre el Consejo Directivo y la operación.
- Gerente académico: Responsable de toda la experiencia formativa. Supervisa la calidad del currículo, el desempeño de los instructores y los resultados de aprendizaje.
- Coordinación de instructores: Gestiona el equipo de instructores de tiempo completo y el programa de instructores invitados de la industria.

- Diseño curricular e instruccional: Un equipo pequeño de pedagogos y expertos técnicos que trabajan con los comités de la industria para mantener los cursos actualizados.
- Asistente ejecutivo y “Staff” de apoyo.
- Equipo de instructores: El personal docente de base del centro, expertos en sus respectivas áreas técnicas (sala limpia, procesos, mantenimiento).
- Gerente de laboratorios: El "dueño" de la sala limpia y los laboratorios. Responsable del mantenimiento preventivo y correctivo de todo el equipo de entrenamiento.
- Técnicos de laboratorio/mantenimiento: Personal de soporte que asegura que el equipo esté siempre calibrado, funcional y disponible para las sesiones de entrenamiento.
- Gestión de materiales y seguridad (EHS): Responsable del inventario de consumibles (obleas, químicos) y de la implementación de todas las políticas de seguridad.
- Gerente de vinculación: El rostro del centro hacia el exterior. Responsable de la relación con el consorcio industrial, la atracción de nuevas empresas miembro y la gestión de las alianzas con la academia y el gobierno.
- Coordinación de servicios a la industria: Gestiona el programa de "Laboratorio Abierto", los proyectos de consultoría y otros servicios que generen ingresos.
- Marketing y admisiones: Responsable de la promoción de los cursos, el proceso de reclutamiento y admisión de estudiantes.

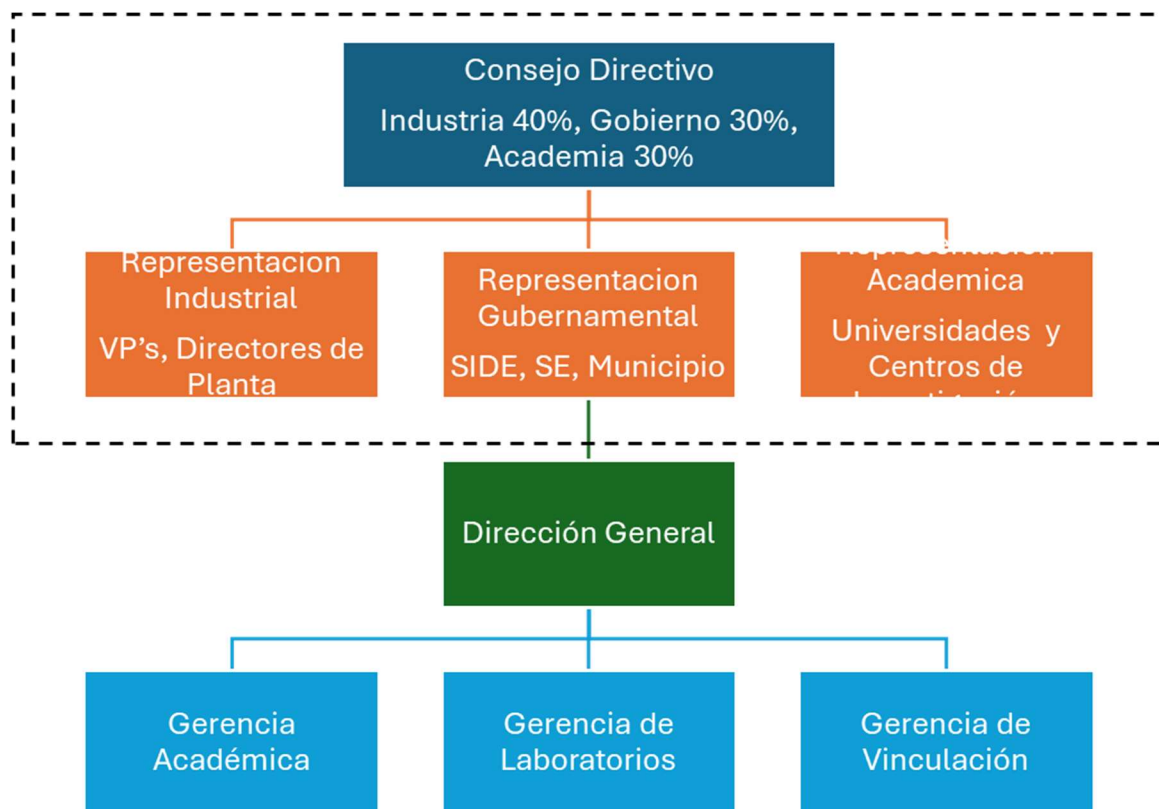


Figura 19 Modelo de gobernanza y estructura administrativa propuesta.

8.4 Modelo de sostenibilidad financiera

Un modelo que dependa exclusivamente de subsidios gubernamentales es vulnerable y está condenado al fracaso a largo plazo. La sostenibilidad del centro se basará en un modelo de ingresos diversificado, diseñado para que, en su fase de madurez, la operación sea mayoritariamente autosuficiente.

8.4.1 Fuentes de ingreso por fases:

Fase 0 (Fundación - Dependencia pública > 70%):

- Aportación inicial de capital (CAPEX): Fuerte inversión del gobierno estatal y federal para la construcción y el equipamiento inicial.
- Cuotas de membresía del consorcio: Las empresas fundadoras aportan una cuota inicial significativa.
- Ingresos por matrícula/colegiatura: Cobro por los cursos del programa ATP-1 (parcialmente subsidiado por becas).

Fase 1 (Crecimiento - Dependencia pública 40-50%):

- Ingresos por cursos de especialización (ATP-2): Estos cursos, dirigidos a empresas que buscan especializar a su personal, tendrán una tarifa más alta y menos subsidio.
- Aumento de las membresías: Con más empresas uniéndose al consorcio, esta fuente de ingresos crece.
- Proyectos de formación a la medida: Diseño y ejecución de programas de entrenamiento exclusivos para una empresa específica, con un costo premium.
- Donaciones de equipo (Valor contable): La donación de equipo por parte de la industria se contabiliza como un ingreso en especie.

Fase 2 (Madurez - Autosuficiencia > 80%):

- Servicios de I+D y prototipado: Cobro a las empresas por el uso de los laboratorios avanzados para sus propios proyectos. Esta se convierte en una línea de negocio importante.
- Consultoría técnica: El personal experto del centro ofrece servicios de consultoría especializada a la industria para la resolución de problemas de proceso o calidad.
- Licenciamiento de contenido: El material didáctico y los cursos en línea desarrollados por el centro pueden ser licenciados a otras instituciones o empresas fuera de la región.
- Organización de eventos y conferencias: El centro organiza la conferencia anual de semiconductores de la región, generando ingresos por patrocinios y asistencia.
- Fondos de proyectos de investigación: Obtención de financiamiento competitivo de fondos nacionales e internacionales de ciencia y tecnología para proyectos de I+D en colaboración con la academia y la industria.

El modelo operativo y de gobernanza propuesto para el Centro de Excelencia ATP/OSAT de Chihuahua es ambicioso, pero realista. Al establecerse como una Asociación Civil ágil, gobernada por un consejo tripartita que equilibra los intereses de todos los actores, se crea una base sólida para el éxito. Las alianzas estratégicas dejan de ser acuerdos superficiales para convertirse en mecanismos operativos que generan valor tangible todos los días. La estructura organizativa, esbelta y enfocada, asegura una ejecución eficiente. Y lo más importante, el modelo de sostenibilidad financiera diversificado traza un camino claro

desde la dependencia inicial de fondos públicos hacia una autosuficiencia robusta en su madurez.

Esta estructura integral es la que permitirá al centro no solo sobrevivir, sino prosperar en medio de la complejidad de la industria y la volatilidad del entorno político. Es la maquinaria interna que impulsará la formación de miles de profesionales, catalizará la innovación y consolidará a Chihuahua, de manera definitiva, como un líder de clase mundial en la cadena de valor de los semiconductores.

9.0 Análisis de impacto del Centro de Excelencia ATP/OSAT: Transformación estratégica de la economía Chihuahuense

En el panorama industrial de 2025, el estado de Chihuahua se encuentra en una encrucijada histórica. Consolidado durante décadas como una potencia manufacturera de clase mundial, principalmente a través del modelo de maquila en los sectores automotriz, aeroespacial y de dispositivos médicos, enfrenta ahora el imperativo de evolucionar. La reconfiguración global de las cadenas de suministro, impulsada por la geopolítica y la necesidad de resiliencia, ha abierto una ventana de oportunidad sin precedentes para que la región trascienda su rol tradicional y se inserte en la cadena de valor más crítica del siglo XXI: la de los semiconductores. En este contexto, la creación del Centro de Excelencia en Ensamblaje, Prueba y Empaquetado (ATP/OSAT) no representa un proyecto aislado, sino el catalizador estratégico diseñado para iniciar una transformación profunda y multifacética de la economía estatal. A continuación, se analiza el impacto esperado de esta institución en cuatro áreas fundamentales: el desarrollo regional, la formación de talento, la competitividad industrial y la transición tecnológica.

9.1 Impacto en el desarrollo regional: De la manufactura de volumen al conocimiento de valor

El impacto más inmediato y visible del centro se manifestará en el modelo económico de la región, provocando un cambio cualitativo que va mucho más allá de las métricas tradicionales de inversión y empleo. La era de la maquila, si bien exitosa en la generación de empleo y divisas, ha basado su competitividad en gran medida en la eficiencia de costos y la mano de obra. El centro OSAT está diseñado para pivotar este modelo hacia uno basado en el conocimiento, la especialización y el alto valor agregado.

En primer lugar, la creación de empleo será de una calidad superior. A diferencia de las líneas de ensamblaje tradicionales, una planta OSAT opera en ambientes de sala limpia, con un alto grado de automatización y exigiendo un perfil técnico avanzado. Esto se traduce en la creación de puestos de trabajo mejor remunerados, más estables y con mayores oportunidades de desarrollo profesional. Un técnico de mantenimiento de equipo de “wire bonding” o un ingeniero de procesos de pruebas eléctricas percibirá un salario significativamente mayor que el promedio manufacturero actual. Este incremento en el ingreso disponible de miles de trabajadores generará un efecto multiplicador positivo en la economía local, estimulando la demanda en los sectores de servicios, vivienda y comercio.

En segundo lugar, el centro funcionará como una potente fuente para la atracción de Inversión Extranjera Directa (IED) de alto valor. Para una empresa multinacional que considera invertir cientos de millones de dólares en una planta OSAT, el principal factor de riesgo no es la infraestructura o los incentivos fiscales, sino la disponibilidad de talento

calificado. La existencia de un centro dedicado a generar un flujo constante de técnicos e ingenieros especializados elimina esta incertidumbre crítica. Actúa como una garantía tangible para los inversores, señalando un compromiso a largo plazo por parte del estado. Esta fortaleza para la inversión no solo atraerá a las grandes empresas OSAT, sino que creará un efecto de arrastre, atrayendo a los grupos proveedores de segundo y tercer nivel: fabricantes de sustratos, proveedores de químicos y gases de alta pureza, empresas de logística especializada y firmas de servicios de calibración de equipos. Esto diversificará y enriquecerá el tejido industrial de una manera mucho más profunda y resiliente.

Finalmente, el establecimiento de un clúster de semiconductores, con el centro como su núcleo, justificará y acelerará inversiones masivas en infraestructura crítica. La industria de semiconductores tiene tolerancia cero a las interrupciones. La necesidad de energía eléctrica ultra confiable (de calidad "cinco nueves"), agua purificada y sistemas de tratamiento de residuos de última generación impulsará la modernización de la red de servicios públicos de la región, un beneficio que se extenderá a todas las demás industrias y a la población en general. A nivel geopolítico, Chihuahua pasará de ser un eslabón eficiente en la cadena de suministro de Norteamérica a ser un eslabón estratégico e indispensable, otorgándole al estado una mayor relevancia en las discusiones comerciales y políticas a nivel nacional e internacional.

9.2 Impacto en la formación de talento

El impacto más profundo y duradero del centro se sentirá en su capital humano. La institución está llamada a revolucionar el paradigma de la formación de talento en el norte de México, creando un ecosistema que antes era inexistente.

El centro establecerá, por primera vez, una ruta de carrera clara, estructurada y aspiracional dentro de la industria de alta tecnología. Un joven egresado de un bachillerato técnico en Juárez o Delicias ya no verá su futuro limitado a una posición de operador de línea. A través de los programas del centro, podrá visualizar un camino: comenzar como Técnico Nivel 1 (ATP-1) certificado en protocolos de sala limpia, especializarse como Técnico Nivel 2 (ATP-2) en un proceso complejo como el empaquetado a nivel de oblea, y eventualmente, con la experiencia y formación continua, convertirse en un Ingeniero de Proceso o un gerente de producción. Esta estructura de "escalera de talento" no solo proporciona movilidad social y económica, sino que es la herramienta más eficaz para combatir la "fuga de cerebros", ofreciendo oportunidades locales que son competitivas con las que se podrían encontrar en el extranjero.

Este nuevo estándar de formación tendrá un efecto de "tracción" sobre todo el sistema educativo. Las universidades e institutos técnicos de la región se verán incentivados —y en cierto modo, obligados— a modernizar sus propios currículos para alinearse con las

demandas del centro y de la industria. La colaboración en el diseño de cursos, la acreditación de materias y los proyectos de tesis conjuntos elevarán la calidad y pertinencia de la educación superior, asegurando que los ingenieros que se gradúen posean no solo el conocimiento teórico, sino también las competencias prácticas que el sector requiere.

Además, el centro desempeñará un papel crucial en la reconversión laboral. En una era de creciente automatización, trabajadores de sectores industriales tradicionales podrán encontrar en el centro una vía para adquirir las habilidades necesarias para transitar hacia la industria del futuro. Un técnico con experiencia en la mecánica del sector automotriz, por ejemplo, podría ser un candidato ideal para especializarse en el mantenimiento de los complejos equipos robóticos de una planta OSAT.

A un nivel más intangible pero igualmente importante, el centro inculcará una nueva cultura laboral. La disciplina, la meticulosidad, la atención al detalle y la mentalidad de cero defectos que son requisitos indispensables para trabajar en una sala limpia permearán en la fuerza laboral regional. Esta "cultura de la precisión" elevará los estándares de calidad y productividad no solo en el sector de semiconductores, sino en todo el ecosistema manufacturero del estado.

9.3 Impacto en la competitividad industrial

La presencia de capacidades locales de ATP/OSAT actuará como un potente acelerador para la competitividad de las industrias ya establecidas en Chihuahua. El centro proporcionará una pieza del rompecabezas que hasta ahora faltaba, permitiendo una integración vertical que antes era imposible.

Si se toma como ejemplo el clúster de dispositivos médicos. Actualmente, una empresa en Chihuahua que diseña un nuevo dispositivo que requiere un circuito integrado para aplicaciones específicas (ASIC) debe enviar su diseño a una fab en el extranjero, luego los wafers a un OSAT en Asia para su empaquetado, y finalmente importar los prototipos para su prueba. Este ciclo puede tomar meses. Con un hub OSAT local, ese mismo ciclo podría reducirse a semanas. La capacidad de crear, empaquetar y probar prototipos rápidamente a nivel local reducirá drásticamente los costos y los tiempos de desarrollo, permitiendo a las empresas chihuahuenses innovar a una velocidad mucho mayor y ser más competitivas en el mercado global.

Lo mismo aplica para el sector automotriz. La capacidad de empaquetar y probar localmente semiconductores de potencia (como los de Carburo de Silicio - SiC) permitiría a los proveedores automotrices del estado integrarlos más rápidamente en los módulos de control para vehículos eléctricos, fortaleciendo su posición en la cadena de suministro de la electromovilidad.

El centro, con su modelo de "laboratorio abierto" y su enfoque en proyectos aplicados, se convertirá en el núcleo de un verdadero clúster de innovación. Será un espacio precompetitivo donde ingenieros de diferentes empresas podrán colaborar en la resolución de problemas comunes, compartir mejores prácticas y tener acceso a equipo analítico que individualmente no podrían costear. Esta polinización cruzada de ideas es el caldo de cultivo para la innovación orgánica y el desarrollo de soluciones tecnológicas propias.

9.4 Impacto en la transición tecnológica

Quizás el impacto más transformador a largo plazo será el rol del centro como catalizador de la transición tecnológica de Chihuahua, permitiendo al estado pasar de ser un seguidor y ejecutor de tecnología diseñada en otros lugares, a convertirse en un adaptador, mejorador y, eventualmente, creador de tecnología.

El currículo del centro, con su fuerte énfasis en automatización, robótica, análisis de datos y control de procesos, servirá como un vehículo para la disseminación de los principios de la Industria 4.0. Las competencias adquiridas por sus egresados se extenderán naturalmente a otras fábricas y sectores, acelerando la modernización de toda la base industrial del estado.

A largo plazo, el ecosistema creado alrededor del centro será un semillero de nuevo emprendimiento. Es un patrón observado en otros hubs tecnológicos del mundo: después de una década de trabajo en la industria, ingenieros y técnicos altamente especializados identifican nichos de mercado y deciden fundar sus propias empresas. Podrían ser firmas de servicios para la reparación de equipos de alta complejidad, desarrolladores de soluciones de automatización a medida, o incluso, en un futuro más ambicioso, pequeñas empresas de diseño de chips (fabless) enfocadas en aplicaciones específicas para los mercados locales, como la agricultura de precisión o la minería. El centro crea la masa crítica de talento y conocimiento necesaria para que este tipo de emprendimiento de alto valor pueda nacer y prosperar.

En esencia, el Centro de Excelencia ATP/OSAT representa un cambio fundamental en la mentalidad regional. Simboliza el paso de "saber ensamblar" a "saber por qué se ensambla de una cierta manera y cómo hacerlo mejor". Este dominio de una fase crítica y compleja de la tecnología de semiconductores es un trampolín hacia el futuro. Dominar el empaquetado hoy abre la puerta para atraer inversiones en tecnologías adyacentes mañana, como los sistemas microelectromecánicos (MEMS), la fotónica de silicio o la manufactura de sensores avanzados.

10. Conclusiones y recomendaciones

El estudio para un proyecto piloto de ensamble y prueba de semiconductores (OSAT/ATP) en Chihuahua, realizado a lo largo de 2025, llega a una conclusión inequívoca: el estado, y por extensión México, se encuentra ante una oportunidad histórica, pero de tiempo limitado, para insertarse de manera significativa en la cadena de valor global de los semiconductores. La confluencia de tensiones geopolíticas, la reconfiguración de las cadenas de suministro y la implementación de políticas industriales estratégicas en Norteamérica, como la Ley CHIPS de EE. UU., han creado un vacío de capacidad en el segmento OSAT que Chihuahua está en una posición única para llenar.

El análisis detallado del contexto internacional, las capacidades locales, los modelos de formación y los riesgos inherentes, revela que el proyecto del Centro de Entrenamiento en Manufactura Avanzada ATP/OSAT no es solo una iniciativa viable, sino un pilar estratégico indispensable para catalizar esta transformación. Sin embargo, el éxito no es un resultado garantizado; depende de la ejecución deliberada, coordinada y sostenida de una serie de acciones por parte de todos los actores involucrados. Este documento presenta las conclusiones fundamentales derivadas del estudio y ofrece una hoja de ruta de recomendaciones estratégicas, diseñadas para guiar los esfuerzos del gobierno, la industria y la academia en la monumental tarea de construir un ecosistema de semiconductores de clase mundial en el corazón del norte de México.

10.1 Conclusiones fundamentales del estudio

El análisis exhaustivo del proyecto y su entorno permite extraer una serie de conclusiones clave que deben servir como base para la toma de decisiones futuras.

10.1.1 Sobre el contexto geopolítico y de mercado

Se concluye que la demanda de servicios OSAT/ATP en Norteamérica no es un ciclo temporal, sino un cambio estructural impulsado por la política de seguridad nacional de Estados Unidos. La inversión de decenas de miles de millones de dólares en nuevas fábricas de obleas en Arizona, Texas y Ohio por parte de gigantes como TSMC, Intel y Samsung generará una demanda masiva y sostenida de servicios de empaquetado y prueba que la capacidad actual de la región no puede satisfacer. Este "gap" de capacidad es la principal ventana de oportunidad para México.

Se determina que la competencia no provendrá de otros estados mexicanos en una primera fase, sino de los ecosistemas asiáticos ya consolidados y de otras naciones emergentes que están implementando estrategias sumamente agresivas. Países como India, Malasia, Vietnam y Tailandia están invirtiendo miles de millones de dólares en incentivos, desarrollando talento a gran escala y perfeccionando sus modelos de atracción de

inversión. Sus experiencias demuestran que el éxito requiere un compromiso gubernamental masivo, una especialización estratégica y una agilidad regulatoria que México debe aspirar a igualar y superar.

El estudio concluye que, si bien el diseño de chips de alto rendimiento es posible en México, la oportunidad más inmediata y realista en manufactura es el segmento de semiconductores tradicionales o "legacy" (nodos >28 nm). Este mercado, que representa decenas de miles de millones de dólares, es fundamental para industrias clave en Chihuahua como la automotriz y de electrodomésticos, y requiere una inversión de capital menos prohibitiva, convirtiéndolo en el punto de entrada ideal para desarrollar capacidades OSAT locales.

10.1.2 Sobre las capacidades de Chihuahua

Se concluye que Chihuahua no parte de cero. Posee los pilares fundamentales para el éxito: una robusta y experimentada base industrial en electrónica y manufactura avanzada, que concentra más del 37% de las exportaciones electrónicas del país; una infraestructura logística de clase mundial con proximidad crítica a EE. UU.; y un ecosistema educativo técnico y superior diverso, dispuesto y con capacidades relevantes. La articulación existente entre gobierno, industria y academia, aunque perfectible, proporciona una base sólida sobre la cual construir.

El análisis de la fuerza laboral concluye que existe un vasto potencial humano. Con más de 91,000 trabajadores en la manufactura electrónica y una estimación de 30,000 operadores con habilidades transferibles a OSAT, el reto no es la falta de gente, sino la falta de especialización. El sistema educativo, si bien fuerte, aún presenta una madurez intermedia en el área específica de semiconductores, con necesidad de consolidar presupuestos y aumentar el número de egresados especializados para alcanzar una masa crítica.

Se determina que el Centro de Entrenamiento ATP/OSAT propuesto es la respuesta directa y necesaria a la principal debilidad identificada: la brecha de talento especializado. Su modelo de formación por fases, enfocado en competencias prácticas y en estrecha colaboración con la industria, es la herramienta precisa para transformar el potencial humano de Chihuahua en una ventaja competitiva tangible.

10.1.3 Sobre el modelo operativo y los riesgos

Se concluye que una estructura de administración tradicional ya sea puramente pública o privada, sería inadecuada. El modelo propuesto de una Asociación Civil (A.C.) sin fines de lucro, con un Consejo Directivo tripartita (industria, gobierno, academia), es la figura idónea para garantizar agilidad, neutralidad, transparencia y, sobre todo, una dirección estratégica dictada por las necesidades del mercado.

El análisis concluye que la mayor amenaza externa para el proyecto es la incertidumbre de la política comercial de Estados Unidos. El riesgo de un endurecimiento de las reglas de origen en la revisión del T-MEC de 2026, y el uso de aranceles como herramienta de presión en temas no comerciales, representan una amenaza existencial para un modelo de negocio basado en la integración transfronteriza.

10.2 Recomendaciones

Basado en las conclusiones anteriores, se emite la siguiente hoja de ruta de acciones críticas, categorizadas para guiar a los diferentes actores del ecosistema chihuahuense.

10.2.1 Políticas públicas y acciones gubernamentales para el fomento ATP/OSAT

Se recomienda que el Gobierno del Estado, en coordinación con la Secretaría de Economía federal y los líderes industriales, transite de las colaboraciones actuales a la creación de una entidad formal: el "Clúster de Semiconductores de Chihuahua, A.C.". Inspirado en modelos como CINDE en Costa Rica o MIDA en Malasia, este organismo debe tener personalidad jurídica, un presupuesto operativo propio (financiado por cuotas industriales y fondos públicos) y un equipo profesional dedicado a la atracción de inversión, la gestión de incentivos y la articulación del ecosistema. Su rol será actuar como la ventanilla única que simplifique y acelere la instalación de nuevas empresas.

Inspirado en las agresivas políticas de Tailandia (exenciones fiscales de hasta 13 años) e India (apoyo de hasta el 50% de los costos del proyecto), se recomienda la creación de un paquete de incentivos específico para el sector OSAT. Este debe ir más allá de los beneficios existentes del Plan México e IMMEX, ofreciendo exenciones del impuesto sobre la nómina por un periodo extendido (10+ años), subsidios directos para la compra de equipo de prueba (ATE) y moldeo, y la depreciación acelerada de activos de manera permanente para el sector.

Se recomienda que el Gobierno del Estado, en colaboración con la CFE y CONAGUA, diseñe y desarrolle zonas específicas dentro de polos como el de San Jerónimo, Juárez, como "Zonas de Infraestructura Crítica Garantizada". Esto implica invertir en subestaciones eléctricas redundantes y sistemas de tratamiento de agua dedicados, para poder ofrecer a los inversionistas un Service Level Agreement (SLA) que garantice la calidad y continuidad de los suministros, mitigando una de las principales debilidades del país.

Ante la amenaza de la revisión del T-MEC, se recomienda que el Gobierno de Chihuahua, junto con el Gobierno Federal y el clúster, financie una campaña de cabildeo profesional y permanente en Washington D.C. El objetivo será posicionar al ecosistema OSAT de Chihuahua no como una amenaza para los empleos estadounidenses, sino como un socio

indispensable para la resiliencia y seguridad de la cadena de suministro de semiconductores de Norteamérica, en línea con los objetivos de la Ley CHIPS.

Se recomienda la creación inmediata del fondo de becas, con una aportación inicial del gobierno estatal, para asegurar el acceso inclusivo al Centro de Entrenamiento. Este fondo debe cubrir los costos de matrícula para egresados de preparatorias técnicas de bajos recursos y para trabajadores de otros sectores que busquen reconvertirse, asegurando así el volumen de estudiantes necesario desde la Fase 0.

10.2.2 Acciones para el sector industrial y el consorcio

Se recomienda que las empresas ancla (como Foxconn y Pegatron) y otras líderes de la manufactura avanzada en la región, formalicen su participación en el centro a través de la firma de acuerdos de membresía. Estos acuerdos deben incluir compromisos financieros (cuotas anuales), de contratación (una "primera opción" sobre los graduados) y de participación activa en los comités técnicos para el diseño curricular.

Se recomienda que el Consorcio Industrial realice un mapeo exhaustivo de sus necesidades de insumos (sustratos, marcos de plomo, químicos, gases) y trabaje activamente con el Clúster y el Gobierno para atraer o desarrollar proveedores de estos materiales en la región. Esto es crucial para cumplir con futuras reglas de origen más estrictas del T-MEC y para aumentar la eficiencia del ecosistema.

Para acelerar el desarrollo del centro y optimizar el uso de recursos públicos, se recomienda que las empresas miembro "apadrinen" estaciones de trabajo específicas dentro de la sala limpia, o que establezcan un programa formal para la donación de equipo de segunda generación (pero aún funcional) que estén desincorporando de sus líneas de producción.

10.2.3 Acciones para la academia y el centro de entrenamiento

La principal recomendación para la dirección del centro es lanzar el programa de formación troncal ATP-1 en el menor tiempo posible. Generar la primera cohorte de técnicos "Cleanroom-Ready" y lograr su exitosa contratación por la industria será la prueba de concepto fundamental que validará el modelo y atraerá mayor inversión y apoyo.

Se recomienda que el centro y las instituciones de educación superior como la UACJ, el ITCJ, el ITESM y el CIMAV, pasen de los memorandos de entendimiento a convenios específicos que detallen los mecanismos para la revalidación de créditos, la gestión conjunta de proyectos de tesis y el uso compartido de laboratorios avanzados.

La dirección del centro debe iniciar de inmediato las gestiones para convertirse en un centro de entrenamiento autorizado por IPC y alinear formalmente sus módulos con los estándares de SEMI. La obtención de estas acreditaciones internacionales es la vía más rápida para

ganar credibilidad global y asegurar que las competencias de sus egresados sean reconocidas universalmente.

Se recomienda que la estrategia de adquisición de equipo siga rigurosamente el modelo optimizado, priorizando la compra de equipo reacondicionado certificado en las fases iniciales. Esto permitirá maximizar el impacto de la inversión pública inicial y enfocar los recursos en la contratación de instructores de alta calidad y en el desarrollo curricular.

En conclusión, el estudio exhaustivo demuestra que el Centro de Entrenamiento ATP/OSAT es la iniciativa correcta, en el lugar correcto y en el momento preciso. Las conclusiones revelan un ecosistema con un potencial inmenso, pero también con vulnerabilidades que deben ser atendidas con decisión. Las recomendaciones aquí presentadas conforman una hoja de ruta integral y coherente. Su implementación no será sencilla y requerirá una colaboración sin precedentes entre el sector público, privado y académico. Sin embargo, el esfuerzo es proporcional a la recompensa: consolidar a Chihuahua como un líder en la industria más estratégica del siglo XXI y asegurar un futuro de prosperidad basado en la innovación y el conocimiento.